

Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Závislost naměřené hodnoty na velikosti snímacího dotyku

The Dependence of the Measured Value from the Size Stylus Tip

Student

Jan Zelinka

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student:

Jan Zelinka

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Závislost naměřené hodnoty na velikosti snímacího dotyku
The Dependence of the Measured Value from the Size Stylus Tip

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Přehled současného stavu řešené problematiky.
3. Metody hodnocení.
3. Experimentální zkoušky.
4. Zhodnocení experimentů.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] PERNIKÁŘ, Jiří, et al. *Jakost a metrologie, Část metrologie*. Brno: VUT v Brně, 2004. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.
- [2] Tichá, Šárka. *Strojírenská metrologie, část 1*. Ostrava : VŠB - TU Ostrava. 2004. ISBN 80-248-0672-X.
- [3] Tichá, Šárka. *Strojírenská metrologie, část 2 - Základy řízení jakosti*. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1209-6.
- [4] Čepová, Lenka, Petřkovská, Lenka. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže FS VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011, 100 s. ISBN 978-80-248-2514-4.
- [5] Petřkovská, Lenka, Čepová Lenka. *Metrologie a řízení kvality*. Ostrava : VŠB-TUO, 2012. 142 s., ISBN 978-80-248-2771-1. Dostupné na <http://projekty.fs.vsb.cz/459/?ucebni-opory>.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Čepová, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Lenky Čepové, Ph.D. a veškeré materiály, z kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v zadní části bakalářské práce.

V Ostravě16.5.2016.....

.....Zelinka.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 16.5.2016


.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jan Zelinka

Adresa trvalého pobytu autora práce: Mlýnská 293, Smržice 798 17

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ZELINKA, J. *Závislost naměřené hodnoty na velikosti snímacího dotyku: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2016, 47 stran, 8 příloh. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá závislostí velikosti snímacího dotyku na odchylku kruhovitosti. V teoretické části jsou popsány odchylky kruhovitosti, normy kruhovitosti, způsoby měření a vyhodnocení, měřicí zařízení atd. Druhá část práce popisuje proces měření na třísouřadnicovém měřicím stroji WENZEL LH 65 X3M s pomocí softwaru Metrosoft QUARTIZ R6 v laboratoři VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedry obrábění, montáže a strojírenské metrologie. Hlavním cílem je samotná analýza vlivu jednotlivých dotyků a drsnosti povrchu obrobku na odchylku kruhovitosti.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

ZELINKA, J. *The Dependence of the Measured Value from the Size Stylus Tip: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2016, 47 page, 8 appendixes. Bachelor thesis tutor: Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

This Bachelor thesis deals with how the dependence of sensor size is impacted by roundness deviation. In the theoretic part there are described roundness deviation, norm roundness, measurement and evaluation methods, measuring devices, etc. The second part of thesis describes the measurement process on coordinating measuring machine WENZEL LH 65 X3M and using the software Metrosoft QUARTIZ R6 in a laboratory of the VSB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology. The main objective is an analysis of the influence of individual impacts and surface roughness on the workpiece roundness deviation.

Obsah

Seznam použitého značení.....	3
1 Úvod do problematiky	5
2 Přehled současného stavu řešení problematiky	6
2.1 Geometrické tolerance	6
2.1.1 Tolerance kruhovitosti	7
2.2 Odchylka kruhovitosti.....	7
2.3 Normy odchylky kruhovitosti	8
3 Metody hodnocení.....	10
3.1 Hodnocení kruhovitosti a odchylky kruhovitosti.....	10
3.2 Měřicí souřadnicové stroje (CMM)	13
3.2.1 CMM jsou vhodné při následujících podmínkách.....	14
3.2.2 Historie CMM.....	15
3.2.3 Druhy CMM	16
3.3 Způsob měření odchylek kruhovitosti.....	18
3.3.1 Spojité metody	19
3.3.2 Nespojité (diskrétní) metody	20
3.4 Metodika měření odchylky kruhovitosti na CMM.....	21
3.5 Měřicí dotyky	22
3.5.1 Typy dotyků.....	22
3.5.2 Druhy materiálů kuliček	24
4 Experimentální zkoušky	25
4.1 Výroba součástí.....	25
4.2 Zkoumané obrobky	27
4.3 Parametry použitých zařízení.....	28
4.4 Experimentální měření odchylky kruhovitosti.....	30

4.5	Grafické výsledky měření	31
4.5.1	Výsledky měření pomocí Gausse bez filtru metodou skenovací.....	32
4.5.2	Výsledky měření pomocí Gausse s filtrem metodou skenovací	33
4.5.3	Výsledky měření pomocí Tšebiševa bez filtru metodou skenovací	34
4.5.4	Výsledky měření pomocí Tšebiševa s filtrem metodou skenovací.....	35
4.5.5	Výsledky měření pomocí Gausse bez filtru metodou dotykovou.....	36
4.5.6	Výsledky měření pomocí Gausse s filtrem metodou dotykovou.....	37
4.5.7	Výsledky měření pomocí Tšebiševa bez filtru metodou dotykovou	38
4.5.8	Výsledky měření pomocí Tšebiševa s filtrem metodou dotykovou	39
4.6	Celkové porovnání všech metod bez filtru.....	40
4.7	Celkové porovnání všech metod s filtrem.....	41
4.8	Vyhodnocení experimentu	42
5	Závěr	43
	Zdroje.....	45
	Seznam příloh.....	47

Seznam použitého značení

Symbol	Význam	Jednotka
A_1	kružnice se středem C_1	
A_2	kružnice se středem C_2	
A5	tažnost	(%)
a_p	hloubka záběru	(mm)
C_1	střed kružnice A_1	
C_2	střed kružnice A_2	
CAD	počítačem podporovaný design (Computer-aided design)	
CMM	souřadnicový měřicí stroj (Coordinate Measuring Machine)	
d	rozměr břitové destičky	(mm)
d_1	průměr břitové destičky	(mm)
D_1	rozměr součásti	(mm)
D_2	rozměr součásti	(mm)
DEA	Digitálně elektronická automatizace (Digital Electronic Automation)	
E	modul pružnosti v tahu	(GPa)
F	posuv	(mm)
G	modul pružnosti ve smyku	(GPa)
GPS	geometrická specifikace výrobku (Geometrical Product Specification)	
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization)	

L	délka součásti	(mm)
LSC	střední kružnice nejmenších čtverců (last squares mean circle)	
MCC	nejmenší opsaná kružnice (minimum circumscribed circle)	
MIC	největší vepsaná kružnice (maximum inscribed circle)	
MZC	kružnice nejmenšího pásma (minimum zone circles)	
R _a	střední aritmetická úchylka profilu	(μm)
R _m	mez pevnosti	(MPa)
R _{max}	maximální vzdálenost poloměru kružnice	(mm)
R _{min}	minimální vzdálenost poloměru kružnice	(mm)
R _{p0,2}	mez kluzu	(MPa)
r _ε	poloměr zaoblení destičky	(mm)
s	šířka destičky	(mm)
v _c	řezná rychlost	(m/min)
Z	kontrakce	(%)
ø	průměr	(mm)
β	úhly	(°)
Δr ₁	radiální vzdálenost	(mm)
Δr ₂	radiální vzdálenost	(mm)
Δz	odchylka kruhovitosti	(mm)

1 Úvod do problematiky

V současnosti se všechny obory dynamicky rozvíjí včetně strojírenského odvětví, které má velký potenciál. Do tohoto odvětví patří i metrologie, na kterou je od minulého století kladen čím dál větší důraz. K největšímu rozvoji tohoto odvětví došlo po vynalezení počítačové techniky, která měla velký vliv na celý strojírenský obor. Důsledkem toho došlo k zrychlení a zkvalitnění výroby.

Největším přínosem té doby byl vynález třísouřadnicového měřicího stroje (dále jen CMM), který posunul obor metrologie kupředu. To mělo za následek, že můžeme měřit složitější součásti, kde je kladen velký důraz na jejich geometrickou přesnost. CMM je schopný měřit velmi kvalitně kontrolovaný obrobek a lze pomocí něj vystavit účinný měřicí protokol, který obsahuje výsledky měření. Princip tohoto stroje spočívá ve snímání prostorových souřadnic bodů získaných z měřené součástky. Dané prostorové souřadnice zpracuje software vytvořených pro CMM. Tento software dále vyhodnotí potřebná data o rozměru, tvaru, polohy atd.

Obor metrologie se rovněž tedy bez pomoci počítačů neobejde. V současné době je trendem čím dál větší inovace strojů a zařízení. Většina firem má tendenci zavést zcela automatizovanou výrobu, která pomáhá ke zrychlení a zkvalitnění výroby. Díky tomu může firma mít větší tržní potenciál a tedy být zajímavější pro zákazníky. Automatizaci napomáhají modely CAD, které podporují kontrolu měření pomocí grafického znázornění daných odchylek přímo na vyobrazené součásti.

Pro zaručení správných výsledků je potřeba předběžně stanovit co je předmětem měření, jaké metody budou použity, správný typ snímacích dotyků a také počet snímaných bodů.

Bakalářská práce se zabývá problematikou měření odchylky kruhovitosti. Práce je rozdělena do dvou částí, a to teoretické a experimentální. První část definuje základní pojmy k řešené problematice. V experimentální části bylo cílem porovnání odchylky kruhovitosti v závislosti od drsnosti povrchu součásti a velikosti snímacího dotyku.








2 Přehled současného stavu řešení problematiky

Během výrobního procesu působí mnoho faktorů, které ovlivňují geometrickou strukturu povrchu. Jedná se o soustavu geometrických prvků povrchu, podmíněnou tvary a rozměry. Další ovlivňující vlastnosti jsou: tvar a jeho odchylky, nerovnosti a jejich rozestavení, trhliny a jiné lokální poškození povrchu. Měření reálného povrchu dovolu je zachytit jeho obraz pouze v určité míře přiblížení. Tento obraz nazýváme změřeným povrchem. Když srovnáme změřený povrch s geometrickým povrchem navrhovaného prvku, zjistíme, že na povrchu se vyskytují odchylky tvaru a nerovnosti povrchu, jako je vlnitost a drsnost. [10]

2.1 Geometrické tolerance

Skutečné plochy vykazují určité odchylky vzhledem k jmenovitým hodnotám. Dle normy ČSN EN ISO 1101 je geometrická tolerance je definována jako toleranční pole, ve kterém se musí nacházet skutečný prvek součásti. Základní tolerance definované pro geometrickou přesnost dle normy ČSN EN ISO 1101 jsou uvedeny v Tab. 2.1. [15]

Tab. 2.1 Klasifikace geometrických tolerancí

Geometrické tolerance		Značka
Tvaru	Přímosti	—
	Rovinnosti	
	Kruhovitosti	
	Válcovitosti	
	Tvaru profilu	
	Tvaru plochy	
Směru	Rovnoběžnosti	
	Kolmosti	

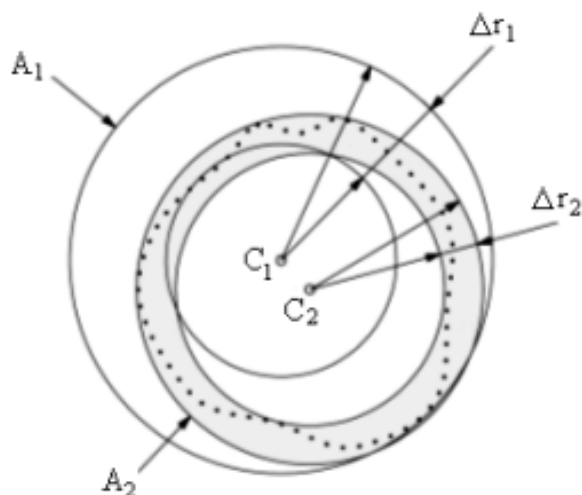
	Sklonu	
Polohy	Umístění	
	Soustřednosti a souososti	
	Souměrnosti	
Házení	Kruhového	
	Celkového	

2.1.1 Tolerance kruhovitosti

„Toleranční zóna je omezena v dané rovině průřezy dvěma soustřednými kružnicemi vzdálenými od sebe o šířku mezikruží rovnou tolerancí kruhovitosti“. [15]

2.2 Odchylka kruhovitosti

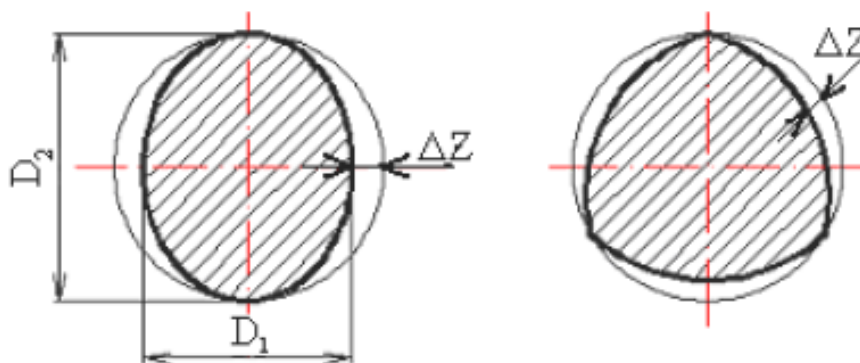
Odchylka kruhovitosti patří do skupiny tolerancí tvaru. Jde o největší vzdálenost reálného bodu profilu od obalové kružnice a rovněž jde o největší zjištěnou kolmou vzdálenost. Obalová kružnice je kružnice s nejmenším opsaným průměrem okolo reálné vnější rotační plochy, popřípadě s největším vepsaným průměrem do reálné vnitřní rotační plochy.[7] Tolerovaná složka je považovaná za odpovídající za podmínky, kdy radiální vzdálenost je rovna předepsané hodnotě tolerance nebo je menší. Je potřeba, aby radiální vzdálenost mezi dvěma soustřednými kružnicemi byla co nejmenší, toho dosáhneme vhodným umístěním středu a poloměrů kružnic.



Obr. 2.1 „Hodnocení minimální zóny pro kružnice“ [13]

Na základě obrázku můžeme určit, že správná toleranční podmínka je $\Delta r_2 < \Delta r_1$. Vyznačená kružnice A_2 splňuje podmínku soustředěnosti kružnic. Radiální vzdálenost Δr_2 se rovná nebo je menší předepsané toleranci kruhovitosti.

Skutečné tvary rotačních ploch se obecně nachází ve dvou formách. Když se tvar blíží k elipse, mluvíme o oválnosti. V případě, kdy má tvar určitý počet hran, tak hovoříme o hranatosti. (Obr. 2.2) [10]



Obr. 2.2 „Tvary rotačních ploch (vlevo oválnost, vpravo hranatost)“ [11]

2.3 Normy odchylky kruhovitosti

Norma je podrobné pravidlo, které nám udává nejdůležitější vlastnosti geometrického tvaru. Mezi základní normy, které upravují odchylky kruhovitosti, patří normy: geometrické požadavky na výrobu, metody hodnocení úchylek kruhovitosti a jiné.

Norma ČSN P ISO/ TS 12181:2005 (01 4151)

Název normy: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Kruhovitost.

Tato předběžná norma je české znění technické specifikace ISO/TS 12181:2003. Technická specifikace ISO/TS 12181:2003 má stav předběžné české technické normy. [4]

Základní pojmy:

- „*kruhovitost (roundness)* – vlastnost kružnice,
- *osa kruhovitosti (roundness axis)* – osa prvku přiřazeného k integrálnímu prvku,
- *rovina kruhovitosti (roundness plane)* – rovina kolmá k ose otáčení v celém rozsahu prvku.“ [4]

Norma ČSN ISO 4291 (01 4411)

Název normy: Metody hodnocení úchylek kruhovitosti – Měření změn poloměru.

„*Tato mezinárodní norma uvádí metody stanovení úchylek kruhovitosti měřením změn poloměru s použitím dotykových přístrojů (snímačů).*“ [2]

Norma obsahuje:

- a) „*typy přístroje a základní předpisy,*
- b) *doporučení pro použití přístroje,*
- c) *metody kalibrace přístroje a ověřování jejich vlastností.*“ [2]

Norma ČSN ISO 4292 (01 4412)

Název normy: Metody hodnocení úchylek kruhovitosti – Měření dvou a třibodovou metodou.

„*Tato mezinárodní norma vymezuje metody číslicového hodnocení úchyly kruhovitosti kombinací dvou a třibodového měření:*

- a) *určování dvoubodovým měřením (měření průměrů),*
- b) *určování třibodovým měřením shora (symetrické nebo asymetrické uspořádání),*
- e) *určování třibodovým měřením zdola (symetrické uspořádání).*“ [3]

3 Metody hodnocení

3.1 Hodnocení kruhovitosti a odchylky kruhovitosti

Velice důležité je hodnocení kruhovitosti a to z důvodu závažnosti rotačních povrchů, požadavků na jejich přesnost a také počtu jejich výskytu. Pomocí normy je stanovený nejmenší počet měření a také poloha rovin měření závisící na délce válcové plochy a poměru délky a průměru.

Dle hlediska četnosti jsou důležité funkční plochy rotačního tvaru. Zvláště důležité jsou pak také požadavky na geometrickou jakost. Touto jakostí je myšlena kruhovitost a složky struktury povrchu jako:

- vlnitost povrchu
- drsnost povrchu

První ze složek se do kruhovitosti zahrnuje nebo je filtrací vyloučena. Druhá ze složek drsnost povrchu není po obvodu zjišťována (jedná se o složku podélnou, je odfiltrována poloměrem zaoblení hrotu snímače). [12]

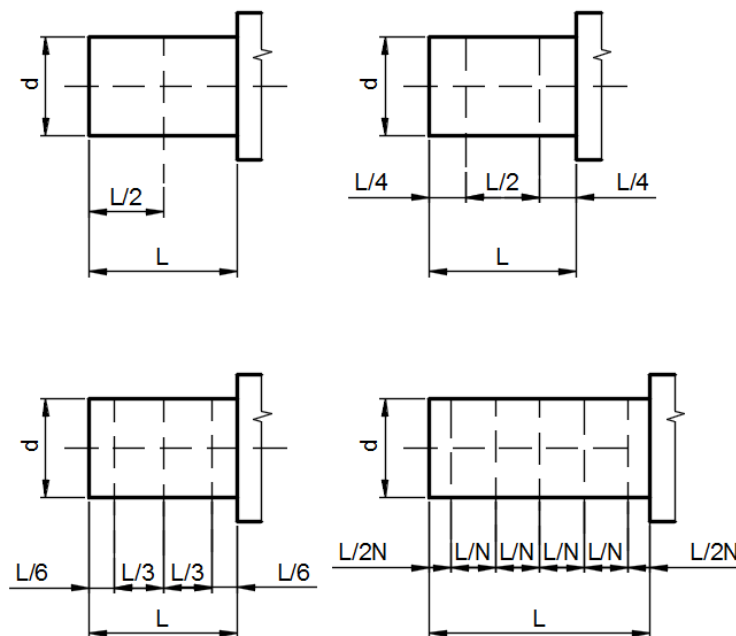
Obecně abychom mohli hodnotit kruhovitost, potřebujeme určit profil rotačního objektu v rovině kolmé na jeho osu (skutečný profil) a tento profil porovnat s kružnicí (ideální profil). Je nutno upřesnit polohu této kružnice vůči posuzovanému profilu. V případě radiální velikosti rozdílu mezi posuzovanými profily, můžeme tuto skutečnost nazývat jako odchylka kruhovitosti. Souvislým sejmutím okamžitých poloh jednotlivých bodů obvodu získáme daný profil součásti.

Číselné vyjádření odchylky kruhovitosti získáme na základě několika kroků, každý z nich určitým způsobem ovlivní přesnost těchto hodnot.

Jako základní kroky lze definovat:

- určení a vyjádření pojmů k definování kruhovitosti,
- určení kritérií pro hodnocení kruhovitosti,
- získání údajů z povrchu měřeného rotačního objektu,
- zpracování signálu nesoucího informace,
- zhodnocení a objasnění výsledku měření.

Tyto kroky přináší jisté problémy, které musíme zabezpečit pomocí normy. Jeden z bodů normy řeší problematiku polohy rovin při měření odchylek kruhovitosti (Obr. 3.1).



Obr. 3.1 Poloha rovin měřených odchylek kruhovitosti

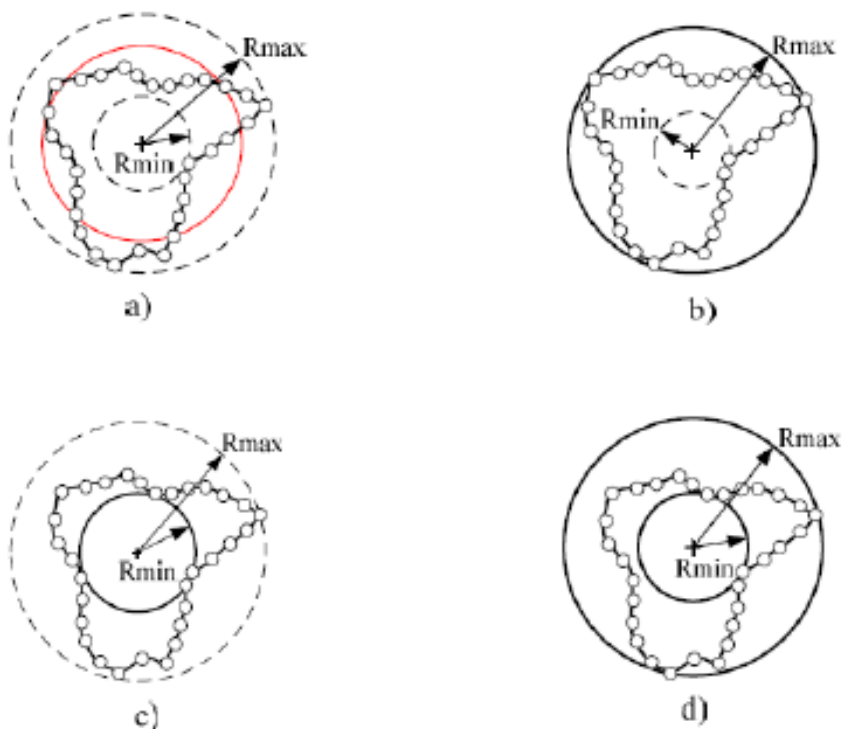
Jsou stanoveny jednotlivé druhy profilu:

- reálný profil kruhovitosti,
- upravený profil,
- zobrazený profil,
- sejmutý profil.

Za vztažnou základnu při hodnocení kruhovitosti jsou dány referenční kružnice:

- Střední kružnice nejmenších čtverců** (LSC – last squares mean circle) – je kružnice, kdy součet čtverců odchylek téhle kružnice od snímaného nebo upraveného profilu je nejmenší. (obr.3.1a)
- Nejmenší opsaná kružnice** (MCC – minimum circumscribed circle) – je to nejmenší kružnice, kterou můžeme nakreslit okolo snímaného nebo upraveného profilu hřídele. (obr.3.1b)

- c) **Největší vepsaná kružnice** (MIC – maximum inscribed circle) – jedná se o největší kružnici, kterou můžeme nakreslit do snímaného nebo upraveného profilu otvoru. (obr.3.1c)
- d) **Kružnice nejmenšího pásma** (MZC – minimum zone circles) – jsou to dvě soustředné kružnice, které obklopují snímaný nebo upravený profil a zároveň mají nejmenší radiální vzdálenost. (obr.3.1d) [12]



Obr. 3.2 Referenční kružnice: a) střední kružnice nejmenších čtverců –LSC;
b) nejmenší opsaná kružnice – MCC; c) největší vepsaná kružnice – MIC;
d) kružnice nejmenšího pásma [7]

3.2 Měřicí souřadnicové stroje (CMM)

Souřadnicový měřicí stroj (CMM – Coordinate Measuring Machines) je významnou inovací v oboru měření ve strojírenství. Tento stroj se používá na měření geometrických vlastností různorodých objektů a zařízení. Podstata spočívá ve zvolení libovolného bodu v prostoru a následné polohy dalších bodů měřené součásti v osách X, Y, Z.

Značnou výhodou je nepochybně možnost stanovit základní bod v jakémkoliv místě pracovního prostoru měřicího přístroje oproti konvenčním postupům. Další výhodou, kterou můžeme zmínit je číslíkový způsob vyhodnocování výsledků oproti tradičním způsobům. Ty zahrnují odečítání zjištěných hodnot z jemných stupnic, kdy se jedná o velmi namáhavý a zdlouhavý proces. Oproti tomu souřadnicové stroje bývají kompatibilní se zařízením pro záznam naměřených hodnot, které následně zpracovává. CMM je konstruováno tak, kdy všechny výsledky jsou porovnávány, zda jsou v tolerančním poli nebo nejsou. Operační technik provádí porovnání dvěma způsoby. Jedna z možností je, kdy pracovník porovnává naměřené hodnoty skutečného tělesa na přístroji s předloženou výkresovou dokumentací, odkud čerpá požadované hodnoty a stanoví, zda jsou v souladu s požadavky zákazníka. Další způsob spočívá v tom, že zákazník předloží obsluze CMM určenou reálnou součást a rovněž model v programu CAD. Pomocí toho pracovník přímo vidí o jakou vzdálenost je vychýlena daná rovina skutečného profilu od modelu CAD. [7]



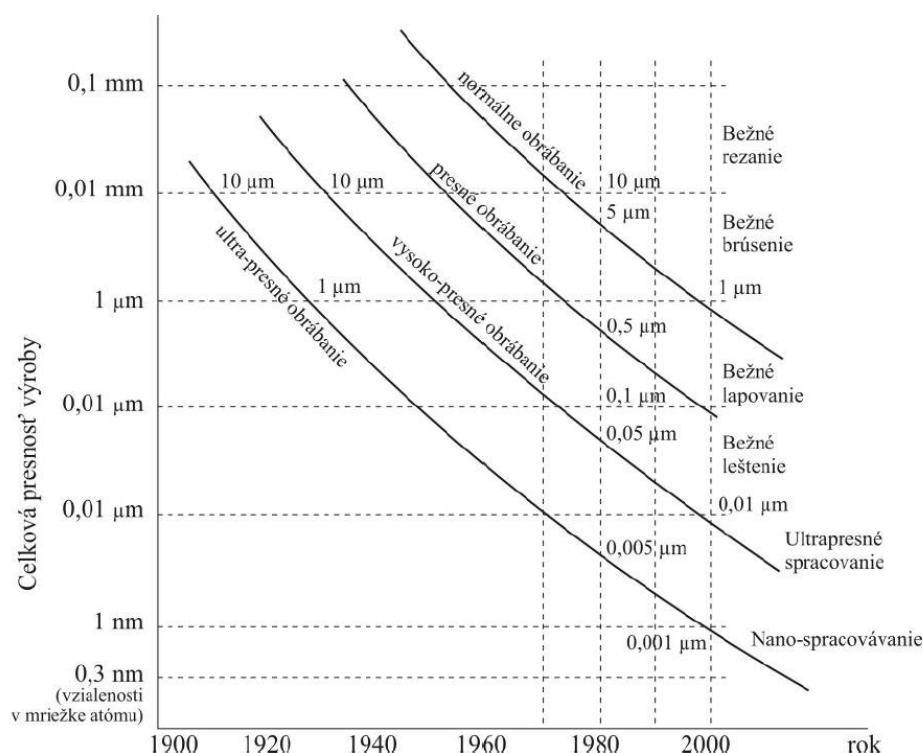
Obr. 3.3 CMM WENZEL LH 65 [16]

3.2.1 CMM jsou vhodné při následujících podmínkách

- **Krátká produkce (při malých sériích)** – můžeme produkovat sto nebo tisíc kusů, ale výrobní série není dostačující, abychom efektivně odůvodnili náklady na inspekční a kontrolní nástroje.
- **Multifunkční funkce** – když máme určitý počet funkcí (obojí dimenzionální a taktéž geometrické) na zkontrolování, CMM je nástrojem, který dokáže organizovat jednoduše a ekonomicky.
- **Flexibilita** – protože si můžeme vybrat aplikaci CMM systémů, taktéž můžeme vykonat krátkodobou produkci a změřit různé charakteristiky.
- **Vysoké jednotkové náklady** – protože opracování a vyhazování dílů je nákladné, CMM systémy nám pomáhají zvýšit produkci akceptovaných dílů.
- **Přerušování výroby** – kdykoliv musí být díl zkontrolován a musí být vyhotovený a akceptovaný jeden vzorek dílů předtím, než bude následovat další výrobní proces, obráběcí centrum může ve skutečnosti být schopno pomocí výrobců ušetřit víc peněz prostřednictvím redukování času, který by byl ušetřen na inspekci. [1]

3.2.2 Historie CMM

Počátek CMM nelze přesně určit, prvními průkopníky se označují C. E. Johansson a F. H. Rolt, jenž psali o strojích, které zvládnou měřit v kartézské soustavě. Během čtyřicátých let rada pro atomovou energii zvětšila potenciál CMM strojů, jelikož jejich stroje udržely krok v oboru exploze výpočtové techniky. Teprve v šedesátých letech se začaly používat jako silný nástroj, kvůli technologii počítačů, tehdy výrobci poznali pravý potenciál CMM systémů. Od této doby se kombinují počítače s CMM stroji a využití je mnohem efektivnější. Postupem času se začalo tlačit na přesnost měření a roku 1983 Taniguchi ve své práci odhadl trend výrobní přesnosti (Obr. 3.3). O patnáct let později jistý Schelllekens uvedl ve své práci dobrý předpoklad o současném stavu přesného strojírenství. [1]



Obr. 3.4 Trendy výrobní přesnosti [1]

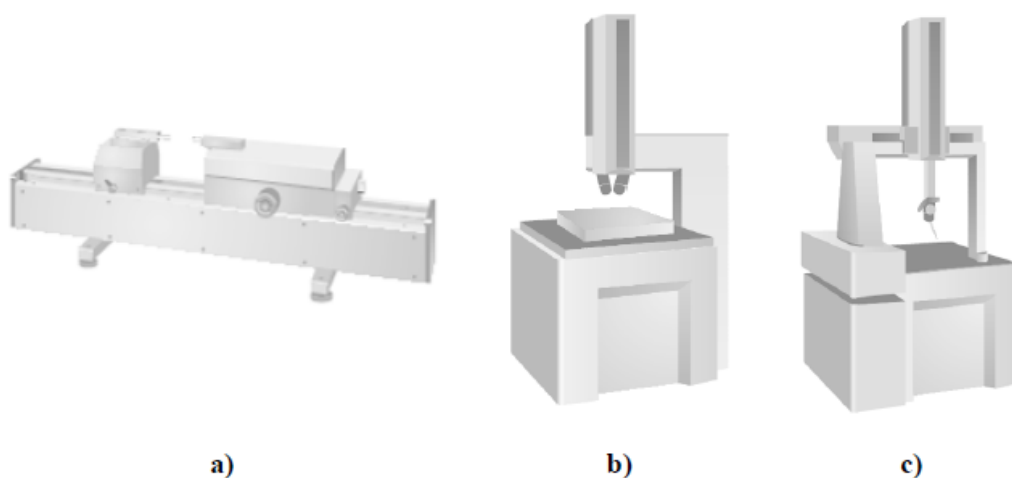
Jako první zařízení CMM je označován stroj od Italské firmy DEA (Digital Electronic Automation) [5]. CMM se skládá z těchto částí: mechanická konstrukce, pohonný systém, řízení, měřicí systém, snímací systém a počítač. [13]

3.2.3 Druhy CMM

Provedení strojů CMM je rozmanité. Výrobci produkují nejrozličnější stroje, jde o malé strojní přístroje až po velké mostové systémy.

Souřadnicové měřicí stroje lze dělit do tří skupin podle jejich konstrukce:

- **Jednosouřadnicové měřicí stroje (ob.3.4a)** – měří se rozměr v jedné ose „x“. Získává se velmi malá chyba měřidla 0,6 až 6 μm v úplném rozsahu.
- **Dvousouřadnicové měřicí stroje (obr.3.4b)** – poskytují měření rozměrů ve dvou vzájemně kolmých osách „x“ a „y“ ve společné rovině. Používáme-li měření ve 2D, tak používáme profilprojektory, laserové interferometry, mikroskopy a skenery.
- **Třísouřadnicové měřicí stroje (obr.3.4c)** – měří se rozměry ve třech vzájemně kolmých osách „x“, „y“, „z“ v prostoru. Pokládáme to za současný vrchol techniky v měření geometrických veličin. Jedním upnutím mohou změřit rozměrově složité tvary navzájem kolmých souřadnic. [1]



Obr. 3.5 Typy CMM podle konstrukce: a) jednosouřadnicový CMM; b) dvousouřadnicový CMM; c) třísouřadnicový CMM [1]

V dnešní době se vyskytuje velké množství CMM, jež charakterizují odlišné stupně automatizace od manuálních, až na některé výjimky, všechny CMM využívají konstrukční řešení s polohováním v kartézské (polární) souřadnicové soustavě.

Dle normy ČSN EN ISO 10 360-1 se CMM člení do čtyř charakteristických geometrických uspořádání:

- portálový typ

- mostový typ
- stojanový typ
- výložníkový typ

Portálový typ

Na trhu patří k nejrozšířenějším CMM pro střední a velké rozsahy měření. Vyznačují se velkou tuhostí, která umožňuje dosahovat velkou přesnost měření. Vyrábí se ve verzi s pohyblivým portálem nebo pevným portálem. Při měření je omezuje jejich konstrukce.

Mostový typ

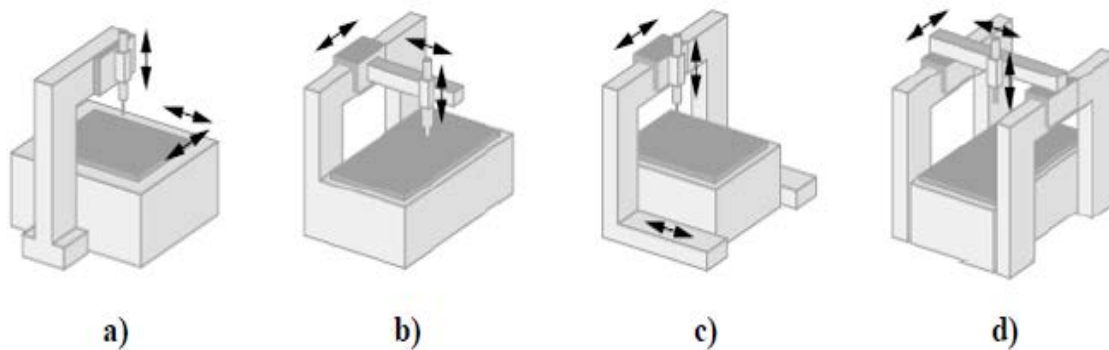
Je největší z CMM strojů i s největším rozsahem měření. Může měřit v ose „x“ 24 m a více. Díky tomu se využívá na měření nadrozměrných součástek, hlavní využití je v automobilovém a leteckém průmyslu.

Stojanový (sloupový) typ

Patří mezi nepřesnější stroje, ale s malými rozsahy měření. Existuje možnost vybavit stroj kruhovým stolem s úhlovou stupnicí. Charakteristickými znaky jsou dobrá tuhá úhlová konstrukce a výborný přístup k měřenému předmětu.

Výložníkový typ

Má poměrně krátkou osu „y“, z příčiny tuhosti stroje. Z toho důvodu je vhodný pro měření dlouhých úzkých součástí. Vyznačuje se i dobrou přístupností k měřené součásti, nicméně je i tak je omezený konstrukcí. [1]



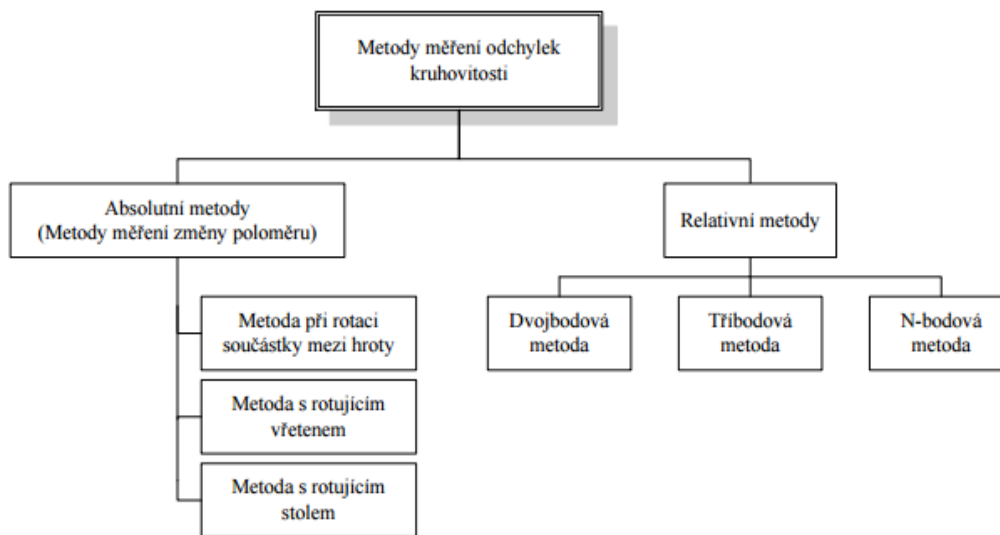
Obr. 3.6 Typy souřadnicových měřicích stojů

a) stojanový typ; b) výložníkový typ; c) portálový typ; d) mostový typ [1]

3.3 Způsob měření odchylek kruhovitosti

Ve výrobě valivých ložisek, ale i např. vodících a nosných prvků hraje významnou úlohu odchylka kruhovitosti. Je jednou z nejkontrolovanějších parametrů jakosti povrchu. Kontrola přesnosti tvaru - kruhovitosti - je z pojetí chodu součásti mimořádně důležitá. Spolu s drsností povrchu zásadně ovlivňuje úroveň vibrací rotujících součástí a tím i kvalitu kompletního zařízení. Proto je věnována velká pozornost hodnocení a zlepšování metod měření. Dále vyhodnocení odchylky a aplikované měřicí techniky. Individuální měření a vyhodnocení neslouží jen k určení velikosti, ale i napomáhání získávání informací použitelných v procesu tvorby povrchu. Ty se dále využijí ke zlepšení obrábění s cílem napravování a zkvalitňování technologického postupu.

K měření odchylek kruhovitosti se využívají různé měřicí metody a různé měřicí přístroje, od univerzálních až po velmi přesné (Obr. 3.7). V posledních letech významně vzrostl vývoj třísořadnicových měřících přístrojů (CMM). Současně umožňují měření kruhovitosti, ale negarantují malou nejistotu měření, jako speciální zařízení. Předností CMM strojů je jejich univerzálnost, jako např. hodnocení odchylky tvaru, průměru a polohy kružnic. [13]



Obr. 3.7 Rozdělení metod měření odchylek kruhovitosti [13]

Metody měření odchylky kruhovitosti pro různé měřicí stroje rozdělujeme na:

- spojitě metody
- nespojitě metody (diskrétní metody)

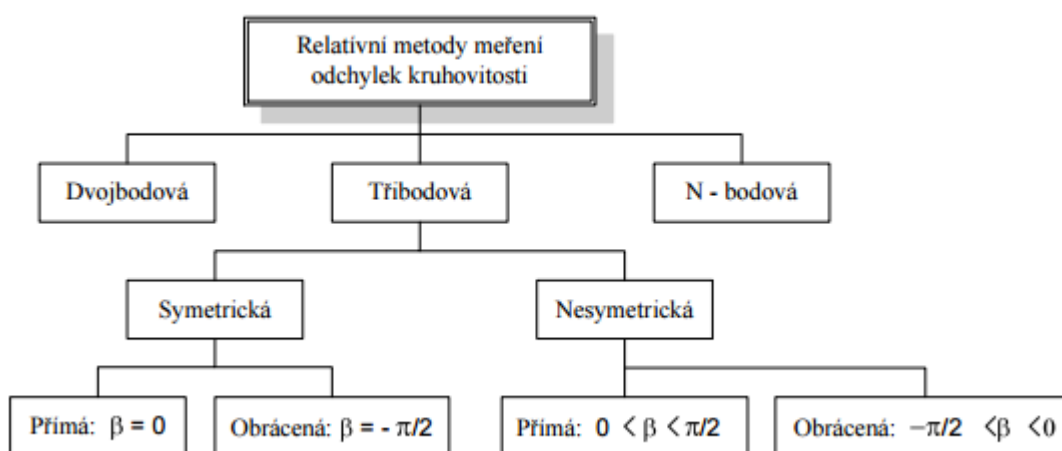
3.3.1 Spojité metody

Jedná se o metody, kdy je dotykový snímač měřicího zařízení v nepřetržitém kontaktu s měřenou součástí po celou dobu měření. Tyto metody se rozdělují na absolutní, relativní a skenovací.[16]

a) **Absolutní metody** – Využívají se výhradně v laboratorních prostorech s meteorologickými přednostmi. [7] Měří se na speciálních strojích, které se rozdělují podle metod na:

- metoda při rotaci součásti mezi hroty
- metoda s rotujícím vřetenem
- metoda s rotujícím stolem

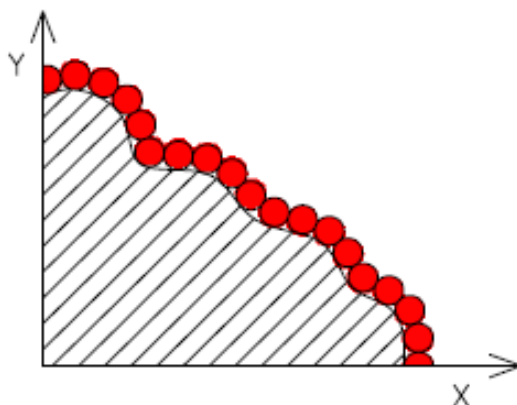
b) **Relativní metody** (dvojbodové, třibodové, n – bodové) – Mají rozsáhlé uplatnění a to hlavně v ložiskovém průmyslu. Výhodou této metody je všeobecná dostupnost a možnost uplatnění ve výpočetní technice. Na základě obrázku (Obr. 3.8) můžeme relativní metody rozdělit. [13]



Obr. 3.8 Rozdělení relativních metod měření odchylek kruhovitosti [13]

c) **Skenovací metoda** – Je spjata s používáním trísouřadnicových měřicích strojů. Skenování je specifický druh snímání, jehož výsledkem je určení hodnot souřadnic měřených bodů jdoucích za sebou na charakteristiku čar měřeného povrchu. Během procesu skenování je rozlezení skenovaných bodů se vzájemným rozestupem mezi dvěma po sobě jdoucími body skenování často menší než 0,1 mm. Tato metoda poskytne podrobnější informace o měřeném povrchu pomocí vysoké hustoty

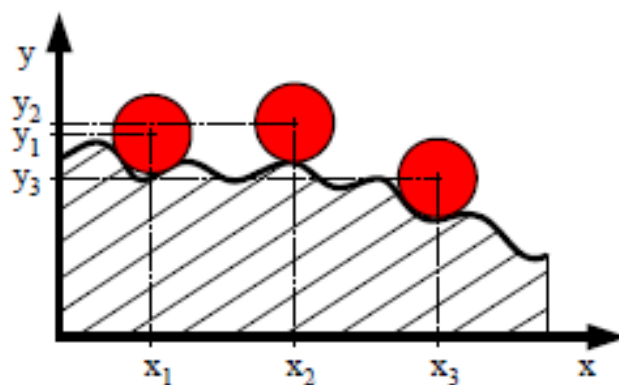
skenování. Dostatečnou vysokou hustotu bodů, kterou potřebujeme pro určení tvaru povrchu (Obr. 3.9), získáme na základě souvislého měření prvků a kontur. Měřicí hlava používaného CMM stroje musí podporovat skenovací technologii. Jedná se o režim s trvalým kontaktem měřicího hrotu a měřeného objektu. [10]



Obr. 3.9 Užití skenovací metody – snímání bodů [10]

3.3.2 Nespojité (diskrétní) metody

Pomocí těchto metod snímání, čerpáme informace na základě měření souřadnic limitovaného počtu bodů z měřeného povrchu. Měření pomocí CMM stroje probíhá v režimu určení polohy diskrétních bodů. Pomocí několika snímaných bodů získáme částečnou informaci o tvaru nebo o poloze snímané plochy. Abychom kontrolovali kruhový profil, je potřeba definovat tři geometrické body. Při určení tvaru a polohy těchto bodů vycházíme ze snímaných souřadnic čtyř bodů v diskrétním režimu. [16]



Obr. 3.10 „Snímání bodů nespojitou metodou“ [16]

3.4 Metodika měření odchylky kruhovitosti na CMM

Z naměřených kartézských nebo polárních souřadnic v rovině anebo prostoru získáme nepřímě potřebné parametry jako rozměr, tvar a poloha. To zapříčiní závislost výsledné veličiny na řadě vstupních veličin.

Za prvé je nutné sestavit plán průběhu měření. To zahrnuje tzv. „strategii měření“, která definuje předepsané požadavky na přesnost výsledků měření a hledá optimální postup k jeho dosažení. Proto musí být operátor CMM s možností daného stroje vždy dokonale seznámen.

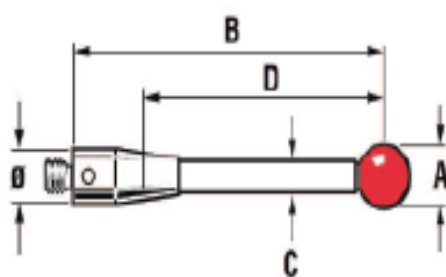
Při skládání postupu měření musí operátor CMM dodržovat základní zásady:

- ustavení obrobku stabilním způsobem na největší plochu,
- měřicí základny by měly korespondovat se základnami konstrukčními,
- v co největší míře provádět slučování měřicích operací,
- ustavení obrobku tak, aby se dal proměřit v jedné poloze,
- volba minimálního počtu doteků,
- volba měřicích bodů tak, aby byl postup co nejkratší,
- snímací body mají být rovnoměrně rozloženy na měřeném geometrickém prvku nejlépe tzv. síťovým způsobem,
- počet snímacích bodů volit o 2 až 3 větší, než vyžaduje geometrická definice,
- směr pohybu snímače před dotykem by měl souhlasit se směrem některé osy,
- kruhové nebo kulové tvary je třeba snímat párovými dvojicemi – diametrálně,
- při statistické interpretaci výsledku měření vyhodnotit minimálně 30 bodů,
- body měřeného geometrického prvku je vhodné znázornit graficky, aby bylo možné vyloučit hrubé chyby,
- vyhodnotit dosaženou nejistotu měření a porovnat ji s požadovanou hodnotou nejistoty. [12]

3.5 Měřicí dotyky

Součástí měřicího systému CMM stroje jsou snímací dotyky, které umožňují styk mezi dílcem a sondou a vyvolají sepnutí v mechanismu sondy. Generovaný signál, který vznikne, pak umožňuje zapsat souřadnice nasnímaného bodu.

Typ a velikost dotyku (Obr. 3.10) závisí na snímané součásti. Tuhost dotyku a dokonalý tvar měřicí kuličky jsou nejdůležitější vlastnosti dotyku.



A – průměr kuličky,
 B – celková délka,
 C – průměr dráku,
 D – efektivní činná délka (EWL).

Obr. 3.11 Rozměry doteku [11]

Pro zvolení vhodného dotyku na měření existují zásady a pravidla, která zní:

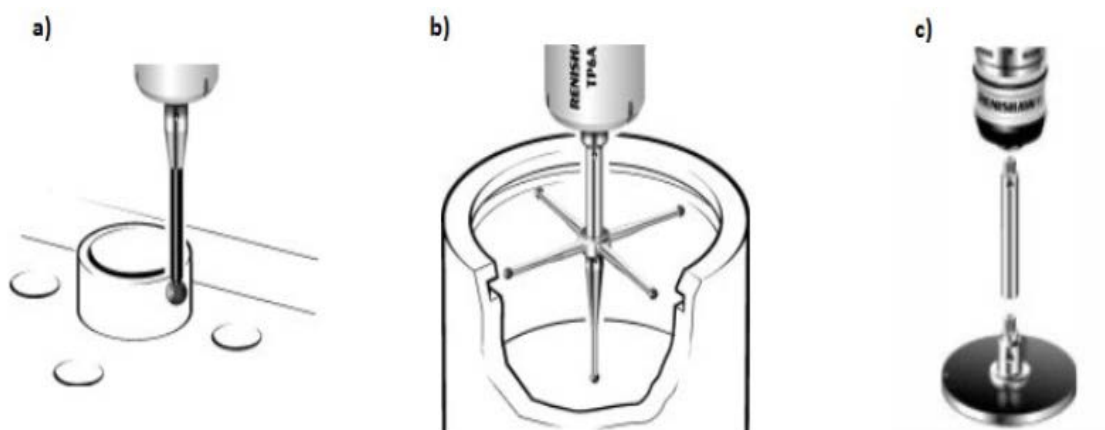
- nejvhodnější je co nejkratší dotyk (mohlo by dojít k průhybu),
- co nejmenší počet dalších nastavitelných nástavců (každý spoj navíc zapříčiní možnost nepřesnosti),
- zvolit co největší průměr kuličky (větší kulička znamená větší průměr stopky dotyku a díky tomu bude větší tuhost dotyku). [11]

3.5.1 Typy dotyků

Typy dotyků (Obr. 3.12) můžeme rozdělit na:

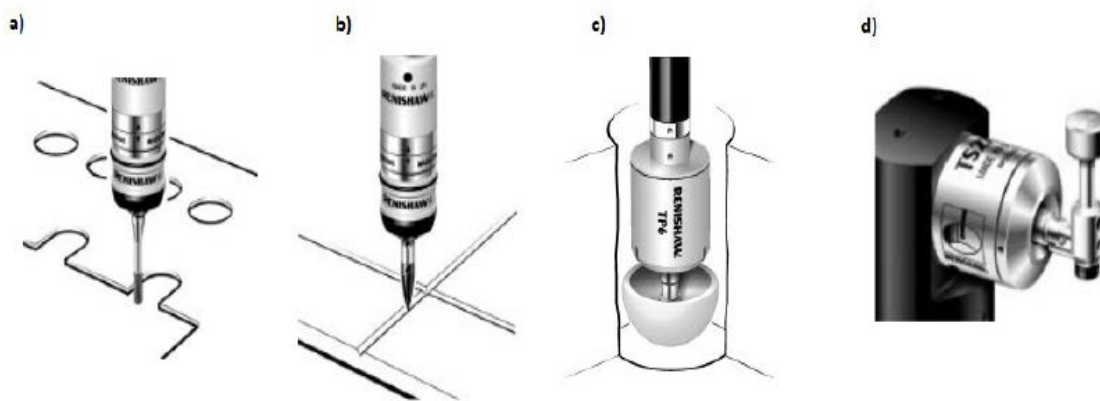
- **přímé** – skládá se z přesné kuličky a stopky a jde o nejjednodušší tvar.
- **hvězdicové** – používá se pro snímání složitých prvků nebo otvorů a to díky konfiguraci dotyků, na základě čtyř nebo pěti kuliček, které jsou připevněny ke střednímu dílu.
- **diskové** – využíváme pro snímání zápchů a drážek, kde nelze použít hvězdicový dotyk. Způsob měření je obdobný k měření s dotykem o velkém průměru, ale je využita malá část povrchu pro kontakt.

- **dotyky pro speciální účely** (Obr. 3.13) – rozdělujeme na:
 - válcový dotyk,
 - špička,
 - dutá keramická polokoule,
 - dotyk na ustavení nástrojů. [1]



Obr. 3.12 Základní typy dotyků [1]

a) přímý dotyk, b) hvězdicový dotyk, c) diskový dotyk

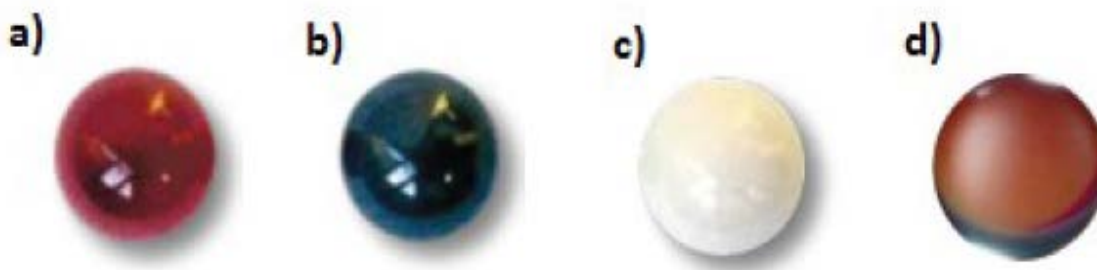


Obr. 3.13 Dotyky pro speciální účely [1]

a) válcový dotyk, b) špička, c) dutá keramická polokoule, d) dotyk na ustavení nástrojů

3.5.2 Druhy materiálů kuliček

- **rubín** – z materiálů nejvíce používaný u většiny měřících aplikací. Ve dvou případech je vhodné použít jiných materiálů:
 - U měření hliníku se v důsledku adhezních otěrů, kdy se na povrchu kuličky usazuje hliník, je vhodnější použít nitrid křemíku,
 - U druhého případu hovoříme o náročných aplikacích při skenování litinových povrchů. Důsledek působení obou materiálů na sebe je opotřebení povrchu rubínové kuličky otěrem. Proto se volí materiál kuličky z oxidu zirkoničitého,
- **nitrid křemíku** – vlastnostmi podobný s rubínem. Materiál je velmi tvrdý a odolný proti opotřebení. Při kontaktu s ocelovými povrchy, ale vykazuje značnou míru opotřebení otěrem,
- **oxid zirkoničitý** – je keramický materiál s velkou tvrdostí a opotřebením jako rubín. Na základě vlastností je vhodným materiálem pro agresivní aplikace u litinových součástek,
- **diamant** – je ze všech materiálů nejlepší a poskytuje nepřesnější a neekonomičtější měření. Vyznačuje se extrémní tvrdostí a hladkým povrchem diamantové kuličky, která udržuje opotřebení tření na minimální hranici. Kuličky těchto materiálů můžeme použít u všech měřících aplikací. [6]



Obr. 3.14 Materiály kuliček [6]

a) rubín, b) nitrid křemíku, c) oxid zirkoničitý, d) diamant

4 Experimentální zkoušky

Experimentální část se snaží analyzovat závislost naměřené hodnoty na velikosti snímacího dotyku. Zkoumané předměty pro potřeby experimentu byly vyrobeny na Vysoké škole báňské. Na měřených obrobkách, které měly odlišnou drsnost, byla měřena odchylka kruhovitosti. Teplota v místnosti a také obrobku musí být $19,5^{\circ}\text{C} \div 20,5^{\circ}\text{C}$ z důvodu zkreslení výsledků.

Kapitola bude obsahovat nákresy měřených součástí, popis použitého zařízení, grafické a statistické vyhodnocení výsledných hodnot. Veškeré měření bylo prováděno pod vedením Ing. Lenky Čepové, Ph.D. na Katedře obrábění, montáže a strojírenské metrologie, v laboratoři vysoké školy báňské na stroji CMM od firmy Wenzel s názvem modelu WENZEL LH 65 X3M PREMIUM. Přístroj spolupracuje s operačním softwarem Metrosoft QUARTIZ R6.

4.1 Výroba součástí

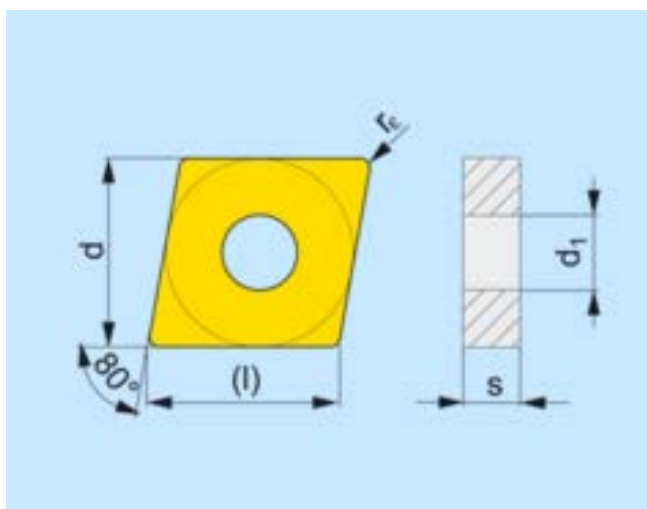
Obrobek na experiment byl vyroben z jednoho kusu na stroji DMG Mori Seiky NLX 2500/700. Nožem typu PCLNR 2525M 12 (Obr. 4.1) a břitové destičky typu CNMG 120408E-M (Obr. 4.2) byl obrobek soustružen na předem daný průměr. Další krok zahrnoval hlazení na požadovanou drsnost. Řezné podmínky pro zhotovení drsnosti jsou uvedeny v Tab. 4.1. Kvůli strategii měření je součást nařezána na pile na 7 částí a z toho byly použity 4 válečky. Protože drsnost $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ je už náročnější na zhotovení, musela být součástka vyrobena samostatně, ale ze stejného kusu obrobku. Poslední krok zahrnuje očištění obrobku od nečistot a mastnot a následně se provede konzervace, která se provádí z důvodu koroze.

Tab. 4.1 Řezné podmínky

Požadovaná drsnost [μm]	vc [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
Ra 0,8	300	0,1	1,5
Ra 1,6	120	0,2	1,5
Ra 3,2	120	0,33	1,5
Ra 6,3	120	0,54	1,5



Obr. 4.1 Obráběcí nůž



Obr. 4.2 Břitová destička [8]

4.2 Zkoumané obrobky

Pro zkoumání vlivu drsnosti obrobku na odchylku kruhovitosti je použit materiál 12 050.1, který je na experiment dostačující. Značení a základní vlastnosti materiálů byly zapsány do Tab. 4.2 ÷ Tab. 4.4. Zkoumané součásti můžeme názorně vidět na Obr. 4.3. a nákresy na Obr. 4.4.

Materiál: Uhlíková ocel k zušlechťování a povrchovému kalení

Označení: ČSN 41 2050

Zahraniční ekvivalenty označení:

Tab. 4.2 Označení [9]

ISO	C60E4 ISO 683-1-87
EURO	C45 EN 10083-2-91
Německo	C45 DIN 17200-84 (1.1191)
Velká Británie	C45 BS EN 100083-2-91
USA	Gr.1043 ASTM A510

Chemické složení v %:

Tab. 4.3 Chemické složení [9]

	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
dle ČSN	0,42 0,50	0,50 0,80	0,17 0,37	max. 0,25	max. 0,30	max. 0,30	max. 0,040	max. 0,040
aktuální stav	0,51	0,69	0,25	0,15	0	0,12	0,023	0,017

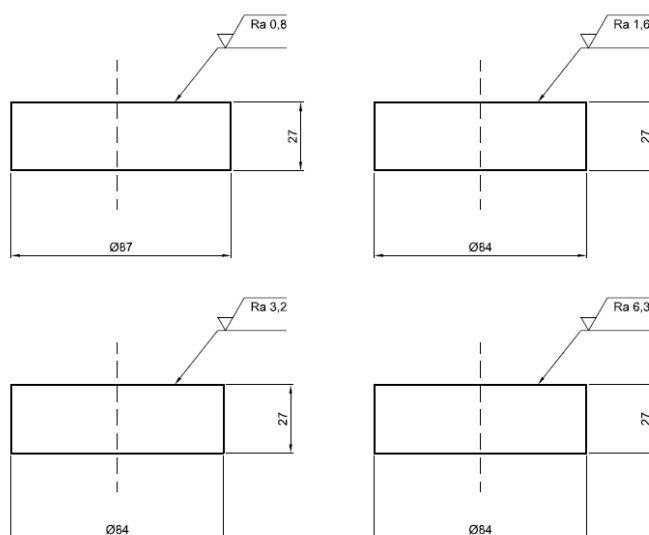
Mechanické vlastnosti:

Tab. 4.4 Mechanické vlastnosti [9]

	Jednotky	12 050.1
Mez kluzu ($R_{p0,2}$)	MPa	min. 325
Mez pevnosti (R_m)	MPa	min. 540
Tažnost (A_5)	%	min. 17
Tvrdość	HB	max. 225
Modul pružnosti v tahu (E)	GPa	211
Modul pružnosti ve smyku (G)	GPa	79



Obr. 4.3 Vyrobený obrobek na měření



Obr. 4.4 Nákrasy měřených součástí

4.3 Parametry použitých zařízení

Při měření byla použita tato zařízení.

Stroj CMM WENZEL LH 65 – X3M Premium:

Měřicí rozsah v osách X/Y/Z:

x = 650 mm

y = 1000 mm

z = 500 mm

Použitelná plocha desky stroje v osách X/Y:

$$x = 850 \text{ mm}$$

$$y = 1700 \text{ mm}$$

Nejistota měření MPEe podle ISO 10360-2 v provedení X3M Premium, zvýšená přesnost:

$$\text{MPEe} = 1,6 + (L/350) \text{ } \mu\text{m}$$

$$\text{MPEp} = 1,6 \text{ } \mu\text{m}$$

$$\text{MPEthp} = 2,2 \text{ } \mu\text{m} \text{ (SP25)}$$

Mobilní stůl pro řízení a počítačovou stanici.**Otočná naklápěcí motorická hlava:**

PH10M (Obr. 4.7)

Měřicí skenovací sonda SP25M – modul 1.**Dotyky:**

1001 – průměr kuličky 2 s přesností po kalibraci 0,0013 mm (Obr. 4.5)

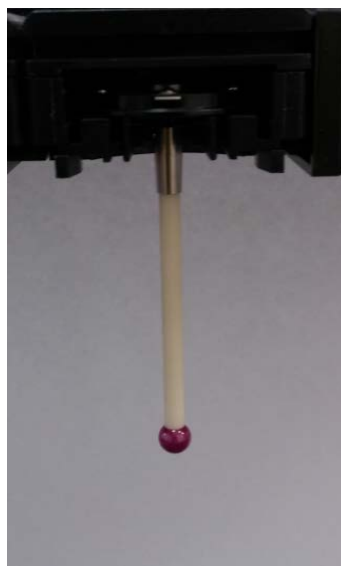
3001 – průměr kuličky 5 s přesností po kalibraci 0,0016 mm (Obr. 4.6)

Software:

Metrosoft QUARTIS R6



Obr. 4.7 Měřicí sonda 1001



Obr. 4.6 Měřicí sonda 3001



Obr. 4.5 Měřicí hlava Renishaw

Hlava Renishaw PH10M má 720 poloh s krokem $7,5^\circ$ a maximální prodloužení 300 mm. Dotyk 1001 má ocelový dřík a rubínovou kuličku. Druhý použitý dotyk (3001) má také rubínovou kuličku, ale keramický dřík.

4.4 Experimentální měření odchylky kruhovitosti

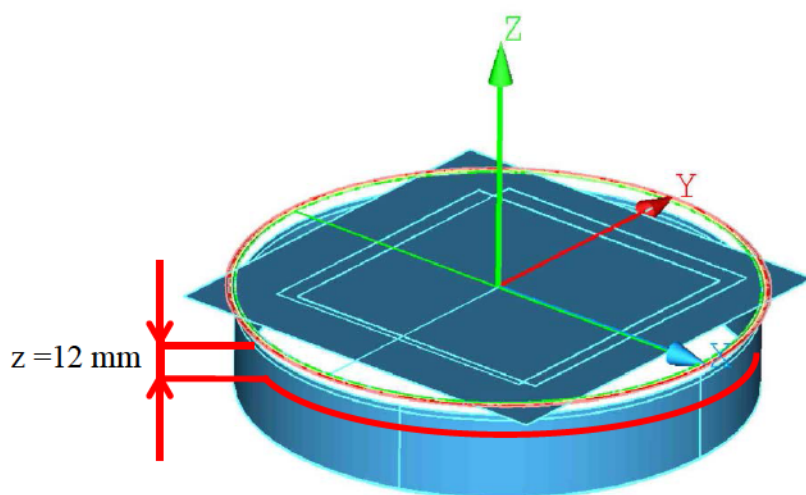
Experimentální část, byla provedena v laboratořích VŠB - TUO, Fakulty strojní, Katedry obrábění, montáže a strojírenské metrologie. Před měřením byla provedená kalibrace snímací hlavy viz Obr. 4.7, na referenční kouli, která má průměr $d = 24,9990$ mm viz Obr. 4.8 a taktéž proběhla kalibrace dotyků, a očištění součásti, aby se eliminovaly všechny chyby při měření. Následně se ustavila a upevnila součástka do sklíčidla, aby se odebraly všechny stupně volnosti. Za pomoci třísouřadnicového stroje WENZEL LH65-X3M Premium a jeho vyhodnocení v software QUARTIS R6, proběhlo vyrovnaní součástí a vytvoření CNC programu.



Obr. 4.8 Referenční koule

Na měřené součásti byla měřena odchylka kruhovitosti v rovině řezu $z = 12$ mm od roviny čela obrobku o průměru $\varnothing 84$ mm viz Obr. 4.9, při drsnostech měřených součástí $R_a = 1,6 \mu\text{m}$, $R_a = 3,2 \mu\text{m}$ a $R_a = 6,3 \mu\text{m}$. Jen jediný obrobek jeho drsnost je $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ se měřil s průměrem $\varnothing 87$ mm. Při měření odchylky kruhovitosti, byly vhodně zvoleny filtry, které jsou doporučeny normou, ale byla zvolena i odchylka kruhovitosti bez filtru, která se v praxi víc používá z důvodu zachycení skutečného povrchu měřené tvarové odchylky.

Na základě toho bylo provedeno měření s filtrem i bez filtru. Řezy byly posouzeny skenovací a bodovou metodou. Skenovací metoda se vyhodnocovala, za pomoci bodů, ve vzdálenosti 0,1 mm od sebe. Měření se opakovalo třikrát, kdy výsledky byly zpracovány a vyhodnoceny při různých metodách, filtrech a různých dotycích. Na stejném principu, proběhla bodová metoda při snímání 38 bodů, ve stejné výšce řezu o stejném průměru, které se opakovalo třikrát a výsledky byly zpracovány a následně vyhodnoceny, při různých dotycích, metodách a filtrech.



Obr. 4.9 Schéma měření v programu Metrosoft QUARTIS R6

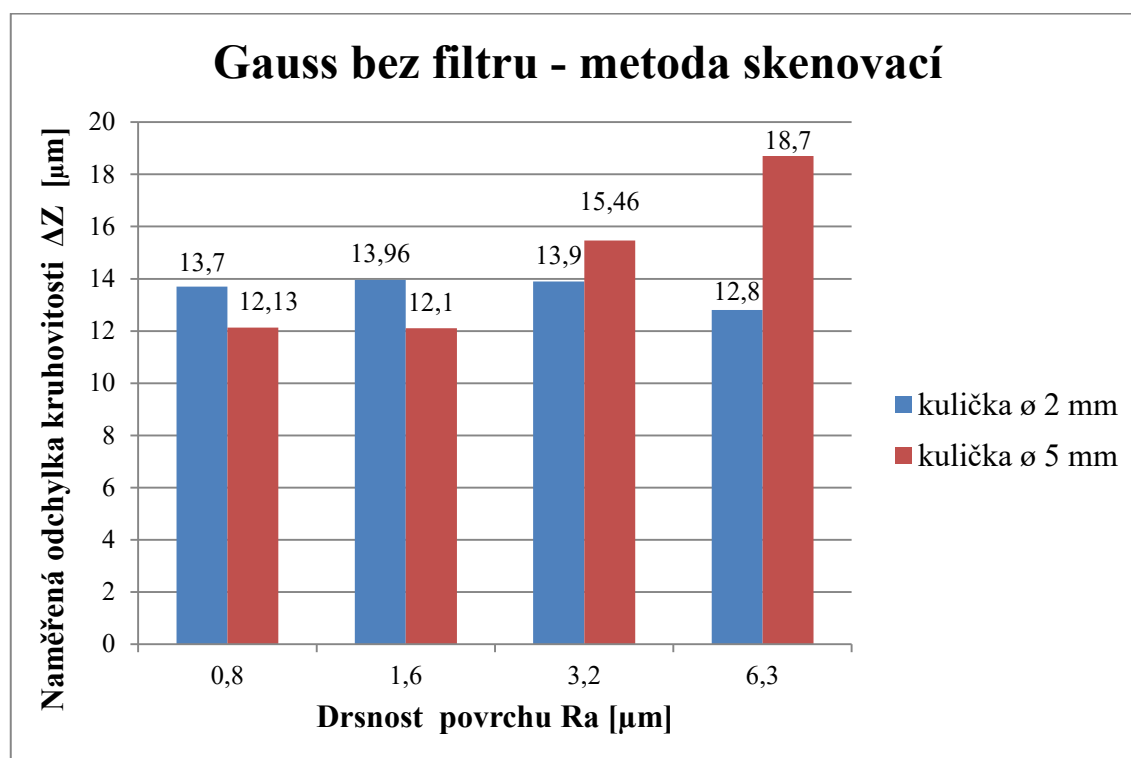
4.5 Grafické výsledky měření

Konečné výsledky byly zaznamenány do protokolu a následně vyhodnoceny viz Tab. 4.5 ÷ Tab. 4.12, včetně grafického zpracování viz Obr. 4.10 ÷ Obr. 4.17.

4.5.1 Výsledky měření pomocí Gausse bez filtru metodou skenovací

Tab. 4.5 Naměřené hodnoty

Kulička \varnothing 2 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr ΔZ [μm]
0,8	13,7	13,2	12,7	13,7
1,6	14,1	13,8	14	13,96
3,2	13,9	14,1	13,7	13,9
6,3	12,7	12,7	13	12,8
Kulička \varnothing 5 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr ΔZ [μm]
0,8	11,9	12	12,5	12,13
1,6	12,4	12	11,9	12,1
3,2	15,9	15,8	14,7	15,46
6,3	19	18,6	18,5	18,7



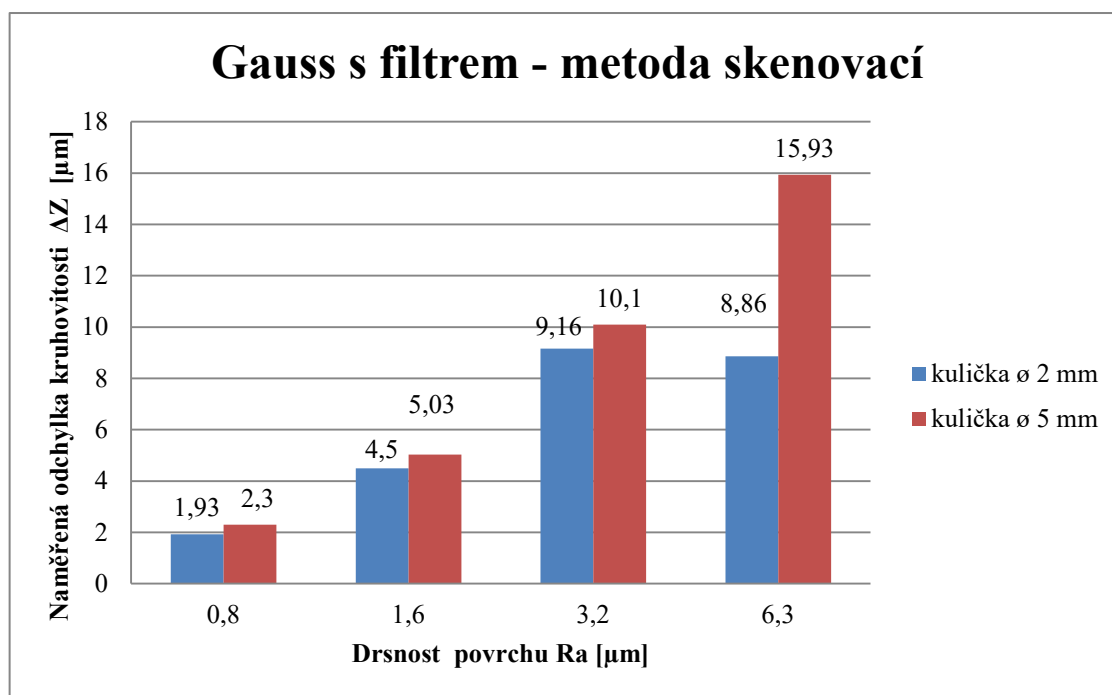
Obr. 4.10 Závislost naměřené hodnoty na velikosti snímacího dotyku

Z grafu lze určit, že nejmenší odchylka byla naměřena při drsnosti $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ a pomocí kuličky průměru $\varnothing 5 \text{ mm}$. Naopak největší odchylka kruhovitosti byla změřena na obrobku o drsnosti $R_a = 6,3 \mu\text{m}$ a při průměru kuličky $\varnothing 5 \text{ mm}$. První dvě drsnosti vykazovaly vyšší naměřenou odchylku u dotyku o průměru $\varnothing 2$ než u dotyku o průměru $\varnothing 5 \text{ mm}$. Je vhodné poukázat i na rozdíl naměřených odchylek při drsnosti $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ a $R_a = 6,3 \mu\text{m}$, kdy menší drsnost měla větší odchylku.

4.5.2 Výsledky měření pomocí Gausse s filtrem metodou skenovací

Tab. 4.6 Naměřené hodnoty

Kulička \varnothing 2 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr $\Delta\bar{Z}$ [μm]
0,8	1,9	2	1,9	1,93
1,6	4,5	4,5	4,5	4,5
3,2	9,2	9,2	9,1	9,16
6,3	8,8	8,8	9	8,86
Kulička \varnothing 5 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr $\Delta\bar{Z}$ [μm]
0,8	2,3	2,3	2,3	2,3
1,6	5,7	4,7	4,7	5,03
3,2	10	10,2	10,1	10,1
6,3	16	15,9	15,9	15,93



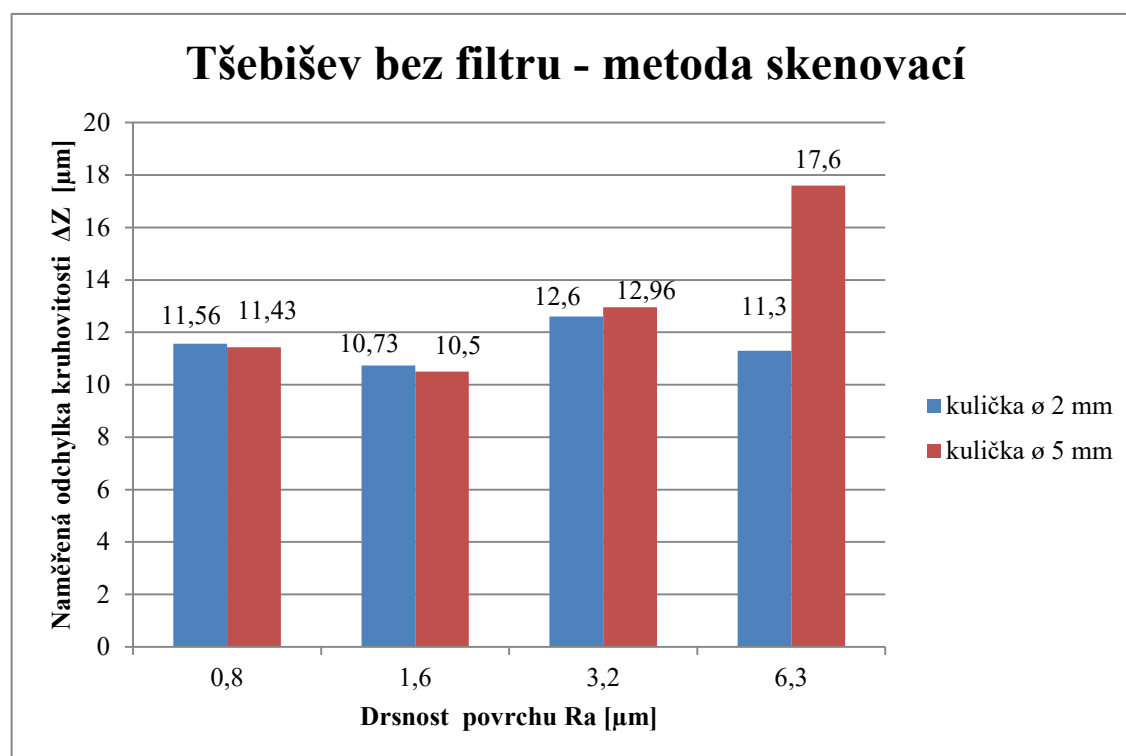
Obr. 4.11 Závislost naměřené hodnoty na velikosti snímacího dotyku

Dle grafického zpracování výsledku lze určit, že nejmenší odchylka byla naměřena při drsnosti $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ a pomocí kuličky průměru $\varnothing 2 \text{ mm}$. Největší odchylka kruhovitosti byla změřena na obrobku o drsnosti $R_a = 6,3 \mu\text{m}$ a při průměru kuličky $\varnothing 5 \text{ mm}$. Zajímavostí je postupný lineární vzrůst naměřených odchylek při velikosti kuličky o průměru $\varnothing 5 \text{ mm}$.

4.5.3 Výsledky měření pomocí Tšebiševa bez filtru metodou skenovací

Tab. 4.7 Naměřené hodnoty

Kulička \varnothing 2 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr $\Delta\bar{Z}$ [μm]
0,8	11,6	11,2	11,9	11,56
1,6	10,6	10,5	11,1	10,73
3,2	12,4	13	12,4	12,6
6,3	11,4	11,2	11,3	11,3
Kulička \varnothing 5 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr $\Delta\bar{Z}$ [μm]
0,8	11	11,9	11,4	11,43
1,6	10,9	10,5	10,1	10,5
3,2	13,1	12,8	13	12,96
6,3	17,5	18	17,3	17,6



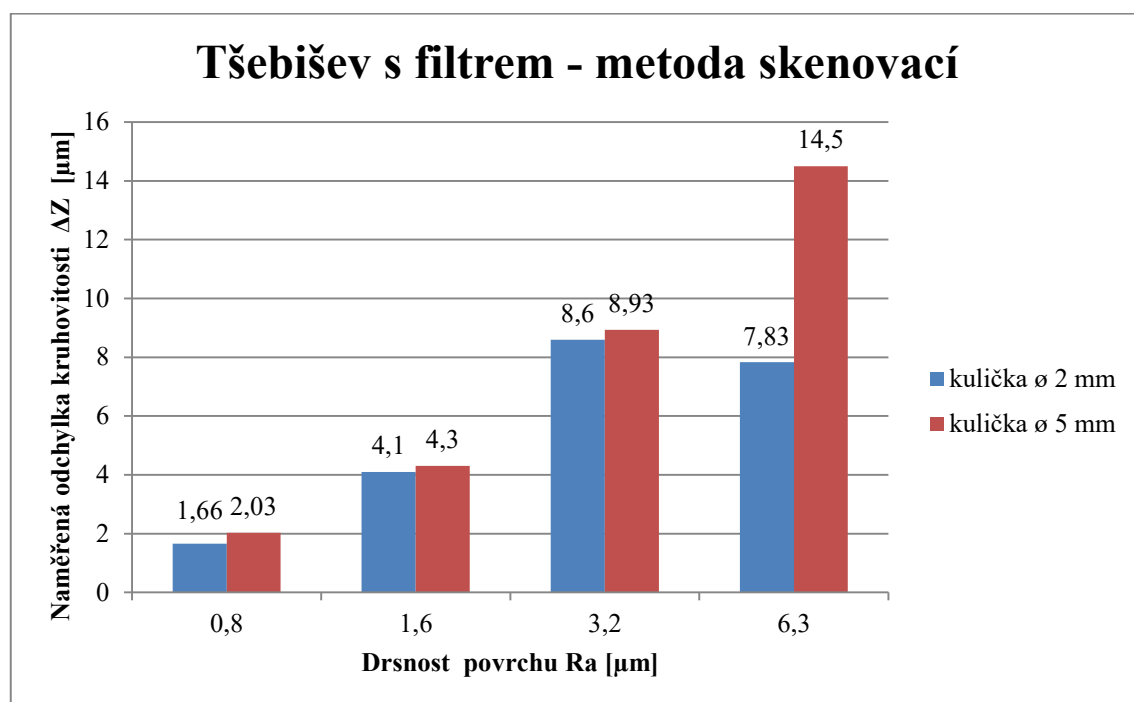
Obr. 4.12 Závislost naměřené hodnoty na velikosti snímacího dotyku

Pomocí grafu lze určit, že nejmenší odchylka byla naměřena při drsnosti $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ a pomocí kuličky průměru $\varnothing 5 \text{ mm}$. Největší odchylka kruhovitosti byla změřena na obrobku o drsnosti $R_a = 6,3 \mu\text{m}$ a při průměru kuličky $\varnothing 5 \text{ mm}$. V této metodě nedocházelo k velkým rozdílům odchylek kruhovitosti při použitých průměrech kuliček a při všech drsnostech povrchu, kromě drsnosti $R_a = 6,3 \mu\text{m}$.

4.5.4 Výsledky měření pomocí Tšebiševa s filtrem metodou skenovací

Tab. 4.8 Naměřené hodnoty

Kulička \varnothing 2 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr $\Delta\bar{Z}$ [μm]
0,8	1,6	1,7	1,7	1,66
1,6	4,1	4,1	4,1	4,1
3,2	8,6	8,6	8,6	8,6
6,3	7,8	7,9	7,8	7,83
Kulička \varnothing 5 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr $\Delta\bar{Z}$ [μm]
0,8	2	2	2,1	2,03
1,6	4,3	4,2	4,4	4,3
3,2	9	8,9	8,9	8,93
6,3	14,6	14,5	14,4	14,5



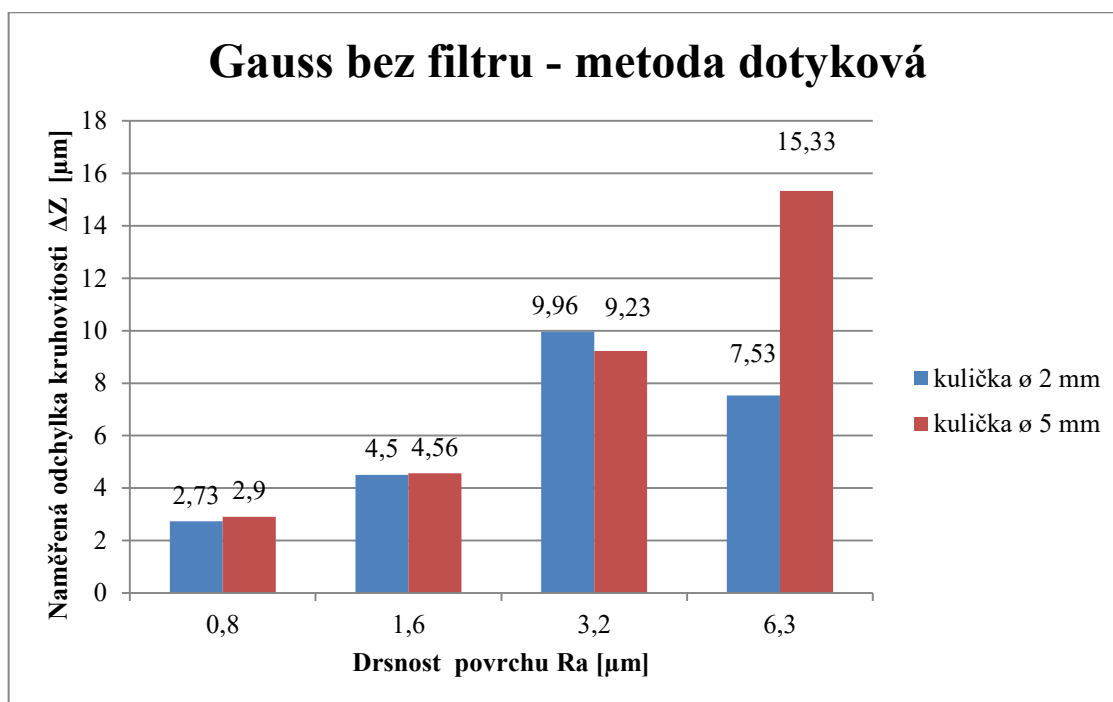
Obr. 4.13 Závislost naměřené hodnoty na velikosti snímacího dotyku

Dle grafického zpracování výsledku lze určit, že nejmenší odchylka byla naměřena při drsnosti $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ a pomocí kuličky o průměru $\varnothing 2 \text{ mm}$. Největší odchylka kruhovitosti byla změřena na obrobku o drsnosti $R_a = 6,3 \mu\text{m}$ a při průměru kuličky $\varnothing 5 \text{ mm}$. Zajímavostí je postupný lineární vzrůst naměřených odchylek při velikosti kuličky o průměru $\varnothing 5 \text{ mm}$. Zároveň nedocházelo k velkým rozdílům odchylek kruhovitosti při použitých průměrech kuliček a při všech drsnostech povrchu, kromě drsnosti $R_a = 6,3 \mu\text{m}$.

4.5.5 Výsledky měření pomocí Gausse bez filtru metodou dotykovou

Tab. 4.9 Naměřené hodnoty

Kulička \varnothing 2 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr ΔZ [μm]
0,8	2,7	2,6	2,9	2,73
1,6	4,4	4,7	4,4	4,5
3,2	10,2	10	9,7	9,96
6,3	7,4	7,5	7,7	7,53
Kulička \varnothing 5 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr ΔZ [μm]
0,8	2,9	3	2,8	2,9
1,6	4,9	4,3	4,5	4,56
3,2	9,5	9,2	9	9,23
6,3	15,3	15,4	15,3	15,33



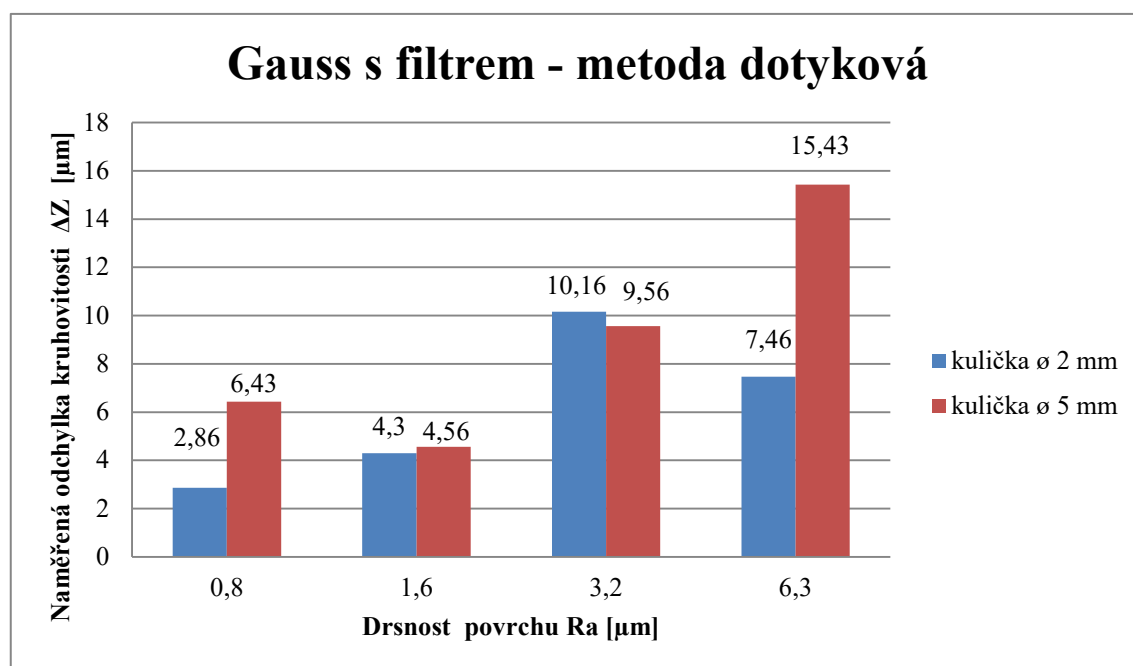
Obr. 4.14 Závislost naměřené hodnoty na velikosti snímacího dotyku

Z grafu lze určit, že nejmenší odchylka byla naměřena při drsnosti $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ a pomocí kuličky o průměru $\varnothing 2 \text{ mm}$. Oproti tomu největší odchylka kruhovitosti byla změřena na obrobku o drsnosti $R_a = 6,3 \mu\text{m}$ a při průměru kuličky $\varnothing 5 \text{ mm}$. Rovněž nedocházelo k velkým rozdílům odchylek kruhovitosti při použitých průměrech kuliček a při všech drsnostech povrchu, to však neplatí pro drsnost $R_a = 6,3 \mu\text{m}$.

4.5.6 Výsledky měření pomocí Gausse s filtrem metodou dotykovou

Tab. 4.10 Naměřené hodnoty

Kulička ø 2 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr ΔZ [μm]
0,8	3	2,8	2,8	2,86
1,6	4,3	4,2	4,4	4,3
3,2	10,1	10,2	10,2	10,16
6,3	7,5	7,6	7,3	7,46
Kulička ø 5 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr ΔZ [μm]
0,8	6,4	6,6	6,3	6,43
1,6	4,5	4,4	4,8	4,56
3,2	9,6	9,4	9,7	9,56
6,3	15,7	15,3	15,3	15,43



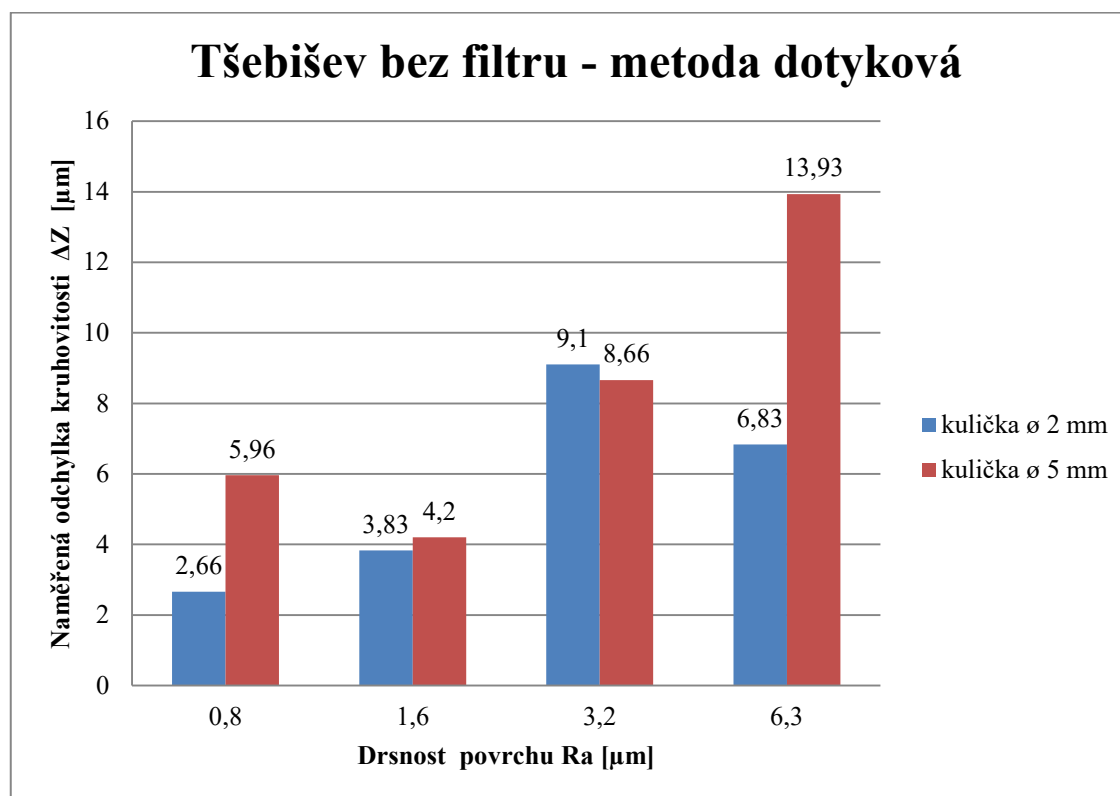
Obr. 4.15 Závislost naměřené hodnoty na velikosti snímacího dotyku

Pomocí výsledků zpracovaných v grafu lze určit, že nejmenší odchylka kruhovitosti byla naměřena při drsnosti $R_a = 0,8 \mu\text{m}$. Největší naměřená odchylka byla pozorována při drsnosti $6,3 \mu\text{m}$. Obrobek, jehož drsnost byla třetí nejvyšší, čili $R_a = 3,2 \mu\text{m}$, měl menší odchylku u použité kuličky o průměru $\varnothing 5 \text{ mm}$ než u použité kuličky o průměru $\varnothing 2 \text{ mm}$. Celkový rozdíl mezi těmito odchylkami nebyl příliš velký. To stejné lze říci i o součásti jehož drsnost byla $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ i v tomto případě byla odchylka mezi použitými dotyky velmi malá.

4.5.7 Výsledky měření pomocí Tšebiševa bez filtru metodou dotykovou

Tab. 4.11 Naměřené hodnoty

Kulička ø 2 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr $\Delta\bar{Z}$ [μm]
0,8	2,5	2,8	2,7	2,66
1,6	3,8	3,8	3,9	3,83
3,2	9	9,1	9,2	9,1
6,3	6,8	6,9	6,8	6,83
Kulička ø 5 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr $\Delta\bar{Z}$ [μm]
0,8	5,9	6,1	5,9	5,96
1,6	4,3	4,2	4,1	4,2
3,2	8,7	8,5	8,8	8,66
6,3	14	14	13,8	13,93



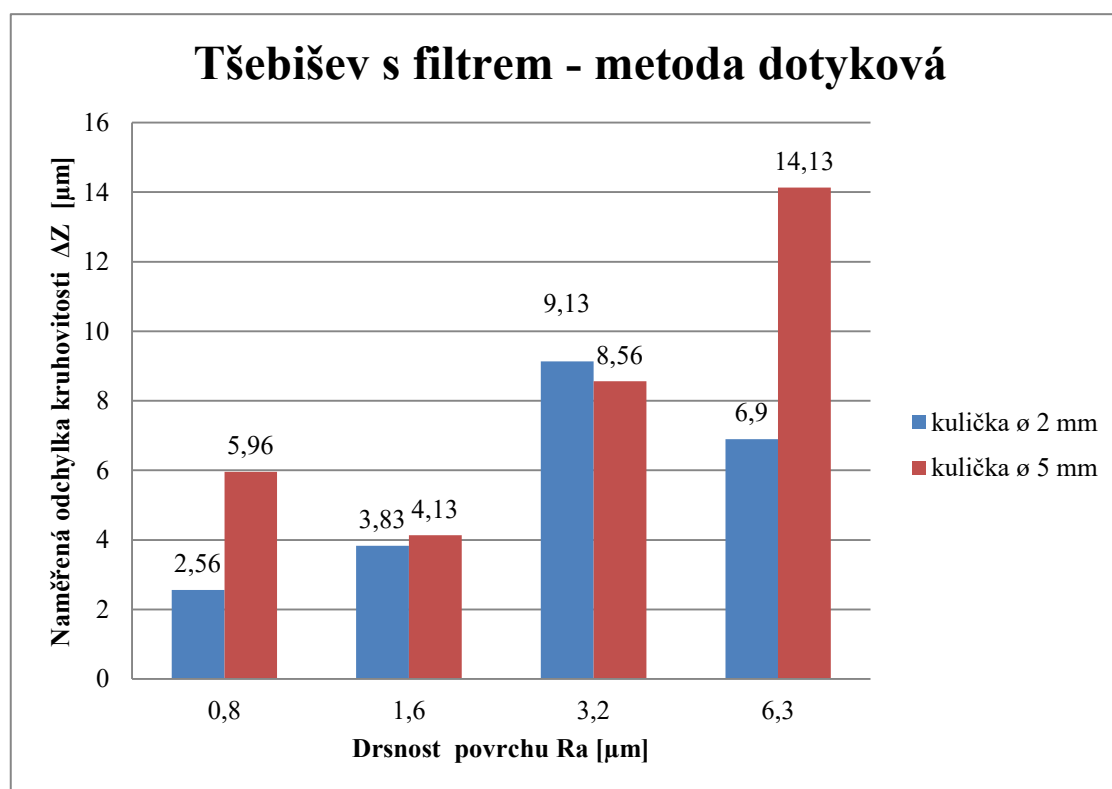
Obr. 4.16 Závislost naměřené hodnoty na velikosti snímacího dotyku

Dle grafického zpracování, je možno určit, že nejmenší odchylka v tomto případě byla změřena při drsnosti povrchu $Ra = 0,8 \mu\text{m}$. Oproti tomu největší odchylku lze pozorovat při drsnosti $Ra = 6,3 \mu\text{m}$. Větší rozdíl mezi odchylkami u jednotlivých drsností nastal v případě $Ra = 0,8 \mu\text{m}$ a také $Ra = 6,3 \mu\text{m}$.

4.5.8 Výsledky měření pomocí Tšebiševa s filtrem metodou dotykovou

Tab. 4.12 Naměřené hodnoty

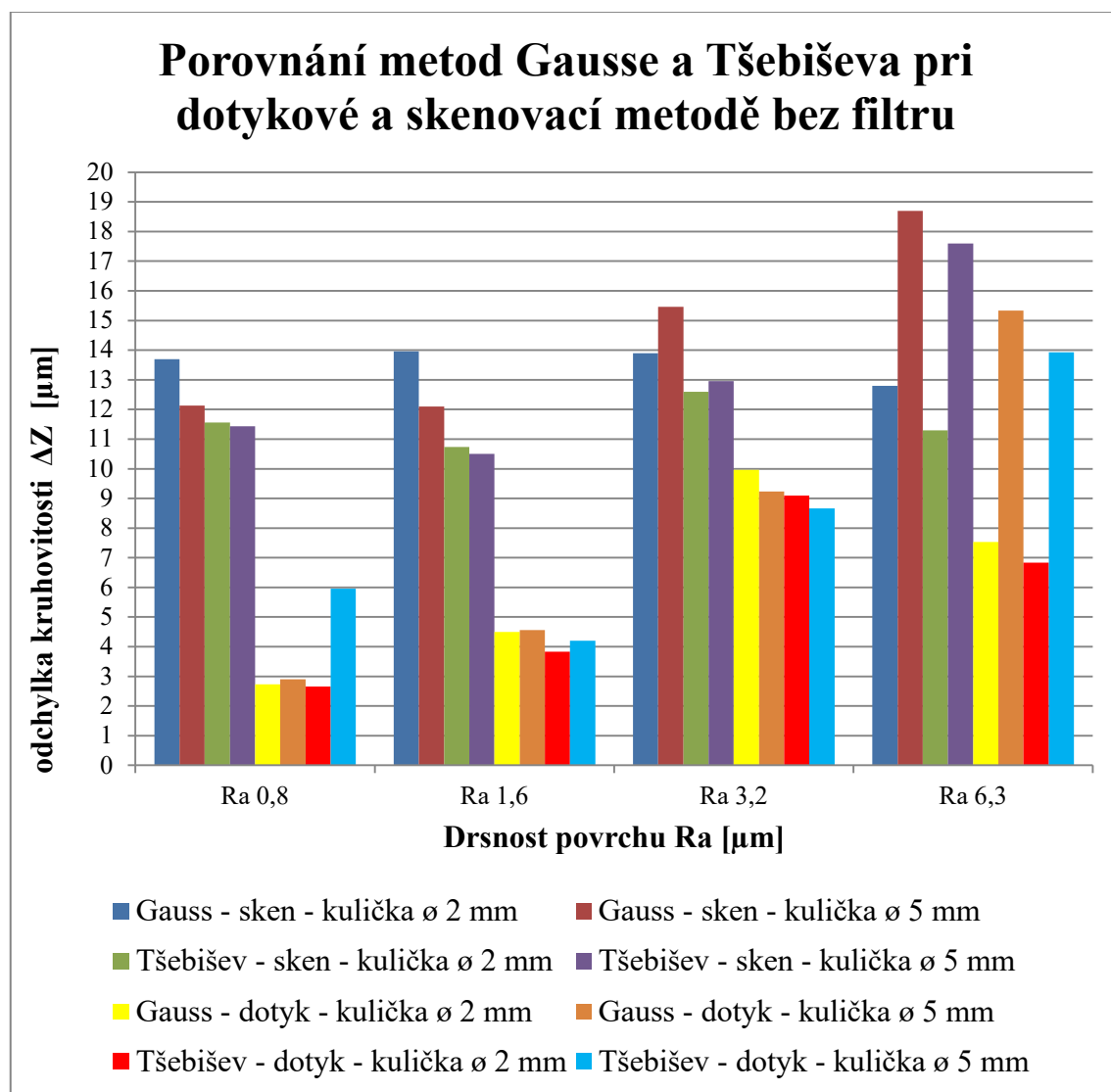
Kulička \varnothing 2 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr $\Delta\bar{Z}$ [μm]
0,8	2,6	2,6	2,5	2,56
1,6	3,8	3,8	3,9	3,88
3,2	9,1	9,1	9,2	9,13
6,3	6,9	6,8	7	6,9
Kulička \varnothing 5 mm				
Drsnost Ra [μm]	měření č.1 [μm]	měření č.2 [μm]	měření č.3 [μm]	Aritmetický průměr $\Delta\bar{Z}$ [μm]
0,8	6,1	6	5,8	5,96
1,6	4,2	4,1	4,1	4,13
3,2	8,5	8,5	8,7	8,56
6,3	14,4	13,8	14,2	14,13



Obr. 4.17 Závislost naměřené hodnoty na velikosti snímacího dotyku

Na základě zpracovaných výsledků, lze určit, že nejmenší odchylka byla změřena v případě drsnosti $Ra = 0,8 \mu\text{m}$. Naopak největší naměřená odchylka byla naměřena u obrobku při drsnosti $Ra = 6,3 \mu\text{m}$. Je vhodné poukázat na výsledky drsnosti $Ra = 3,2 \mu\text{m}$, kdy byla naměřena větší odchylka kruhovitosti pomocí dotyku o průměru $\varnothing 2 \text{ mm}$.

4.6 Celkové porovnání všech metod bez filtru

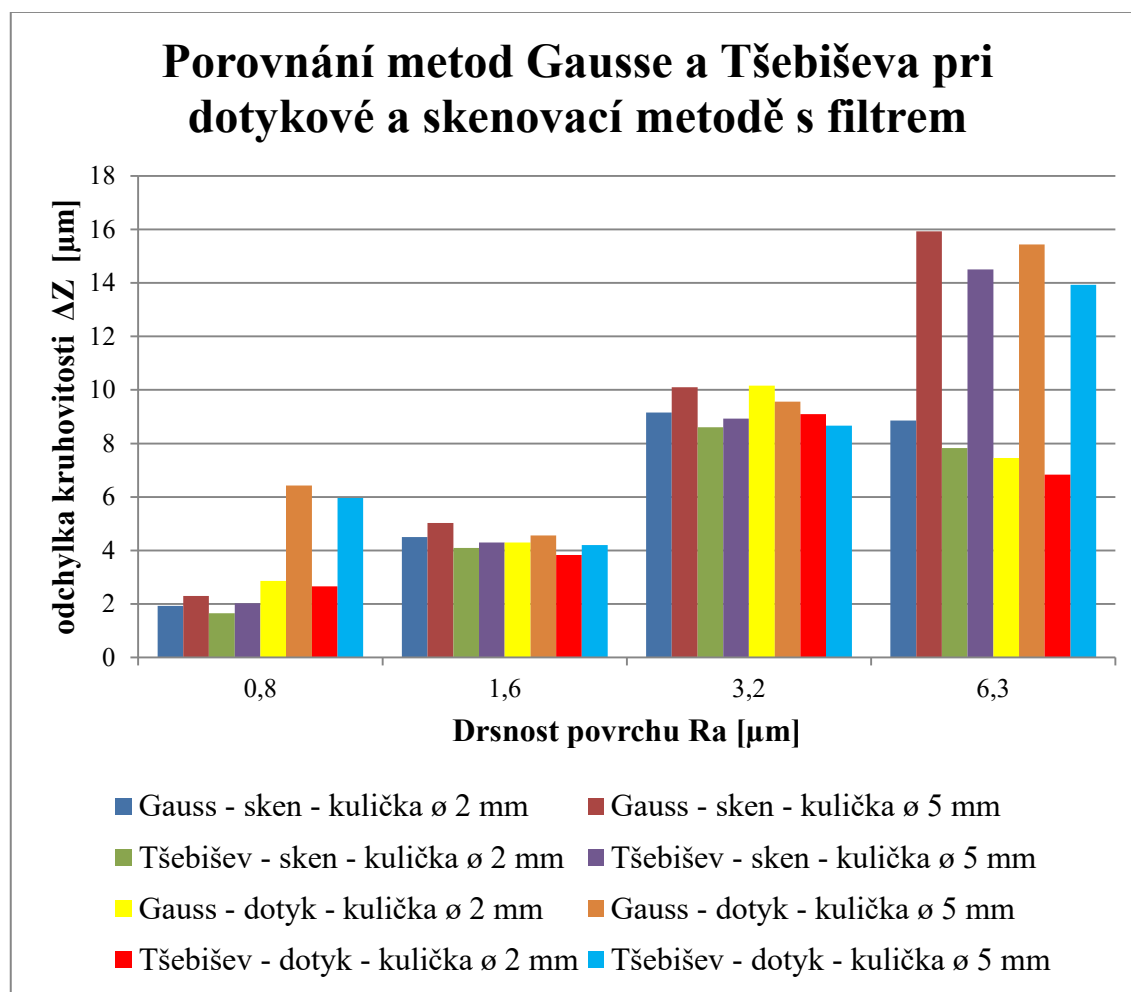


Obr. 4.18 Porovnání metod Gausse a Tšebiševa při dotykové a skenovací metodě bez filtru

Z grafu vyplývá, že nejmenší odchylka kruhovitosti změřená bez filtru byla v případě drsnosti $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ s pomocí Tšebiševa, dotykové metody a kuličky o průměru $\varnothing 2 \text{ mm}$. Naproti tomu největší odchylka kruhovitosti bez filtru byla u obrobku, jehož drsnost činí $R_a = 6,3 \mu\text{m}$. Tato odchylka byla zjištěna pomocí Gausse, skenovací metodou a kuličky o průměru $\varnothing 5 \text{ mm}$.

Obecně pomocí skenovací metody došlo k naměření větších odchylek kruhovitosti než dotykovou metodou. Metody Gauss a Tšebišev měly podobné odchylky, rozdíl nastal u použitých kuliček nebo zvolené metody ať už u skenovací či dotykové.

4.7 Celkové porovnání všech metod s filtrem



Obr. 4.19 Porovnání metod Gausse a Tšebiševa při dotykové a skenovací metodě s filtrem

Z grafického vyjádření výsledků vyplývá, že nejmenší odchylka kruhovitosti změřená s filtrem byla v případě drsnosti $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ s pomocí Tšebiševa, skenovací metody a kuličky o průměru $\varnothing 2 \text{ mm}$. Naproti tomu největší odchylka kruhovitosti s filtrem byla u obrobku, jehož drsnost činí $R_a = 6,3 \mu\text{m}$. Tato odchylka byla zjištěna pomocí Gausse, skenovací metodou a kuličky o průměru $\varnothing 5 \text{ mm}$.

Celkově nejnižší odchylky vykazují obrobky s drsností $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ a $R_a = 1,6 \mu\text{m}$. Zbývající součásti s drsností $R_a = 3,2 \mu\text{m}$ a $R_a = 6,3 \mu\text{m}$ mají přibližně dvojnásobně větší odchylky kruhovitosti. Metody Gauss a Tšebišev měli podobné odchylky, rozdíl nastal u použitých kuliček nebo zvolené metody ať už skenovací či dotykové.

4.8 Vyhodnocení experimentu

Pomocí měření jsme se pokusili zachytit závislost naměřené hodnoty na velikosti snímacího dotyku na odlišných drsnostech obrobků. Na základě použitých metod a dotyků se zjistilo, že čím větší je drsnost tím jsme naměřili větší odchylky kruhovitosti. Toleranční pole bylo stanoveno na 50 μm . Žádný z výsledků měření nepřekročil danou hodnotu kritéria. Největší odchylka kruhovitosti byla změřena pomocí metody Gausse bez filtru na obrobku s drsností $R_a = 6,3 \text{ mm}$ a dotykem 3001 (kulička o $\varnothing d = 5 \text{ mm}$) a činila 18,7 μm .

Z grafických výsledků je zjevné, že metody s filtrem vykazují menší odchylky kruhovitosti oproti metodám bez filtru. Metoda Tšebišev vypovídá nepatrně menší odchylky kruhovitosti oproti Gaussovi, ale jsou to tak nepodstatné hodnoty, které v praxi nehrají velkou roli. Při použití obou metod bez filtru a na základě spojitě metody byla odchylka kruhovitosti při všech drsnostech podobná. U metod Gauss a Tšebišev s filtrem pomocí skenovací metody byla naměřená odchylka menší při použití kuličky o průměru $\varnothing 2 \text{ mm}$ než při použití kuličky o průměru $\varnothing 5 \text{ mm}$. Dle této skutečnosti, lze poukázat na závislost drsnosti společně s velikostí kuličky na odchylku kruhovitosti.

Nejmenší hodnotu odchylky kruhovitosti získáme menším průměrem dotyku kuličky na součásti a s nejmenší drsností obrobku, kterou budeme měřit Tšebiševem s filtrem pomocí skenovací metody. Nejmenší odchylka měření činila 1,66 μm při drsnosti $R_a = 0,8 \text{ mm}$. Při použití metod Gauss a Tšebišev s filtrem i bez filtru pomocí nespojitě metody, byla odchylka při použití kuličky o průměru $\varnothing 5 \text{ mm}$ mnohem větší než při použití kuličky o průměru $\varnothing 2 \text{ mm}$. Tato situace nastala u obrobku s drsností $R_a = 0,8 \text{ mm}$. Z toho plyne, že při měření drsnosti $R_a = 0,8 \text{ mm}$ není vhodně použít doteky s velkým průměrem kuličky. Součást, která má drsnost $R_a = 6,3$ měla většinou skoro dvojnásobně větší odchylku kruhovitosti u dotyku 3001 ve všech případech.

5 Závěr

Bakalářská práce se věnovala problematice odchylek kruhovitosti na různých drsnostech povrchů obrobků za předem stanovených průměrů dotyků. Odchylka kruhovitosti je výrazným parametrem při vyhodnocení kvality zhotovených součástí.

Třísouřadnicové stroje jsou nejvíce používané v metrologii, kvůli jejich výhodám se na měření odchylky kruhovitosti nejvíce hodí. Pomocí těchto strojů můžeme použít jak bodovou (nespojitou) tak skenovací (spojitou) metodu. Spojitá metoda je mnohem přesnější než nespojitá, protože čím více bodů naskenujeme, tím dostaneme přesnější hodnoty odchylky kruhovitosti. Nezáleží jenom na použité metodě, ale i na průměru použitého dotyku. A právě třísouřadnicový stroj byl využit pro rozbor této práce. Použitý stroj je od firmy Wenzel LH 65 X3M PREMIUM se zvýšenou přesností.

V praktické části bylo uskutečněno měření odchylky kruhovitosti na obrobcích s průměrem \varnothing 84 mm a průměrem \varnothing 87 mm. Provedené měření se uskutečnilo na vnější ploše každé součásti. Byly použity celkem čtyři obrobky, z nichž každý měl rozdílnou drsnost. Odchylka kruhovitosti se měřila v rovině řezu $z = 12$ mm od roviny čela obrobku. Měření probíhalo pomocí dvou zvolených metod, a to Gauss a Tšebišev. Dále experiment probíhal s filtrem a bez filtru. Měření bez filtru bylo zvoleno z důvodu častého použití v praxi. Cílem práce bylo určení závislosti naměřených hodnot na velikosti snímacího dotyku při měření obrobků o různých drsnostech. Tento cíl se podařilo naplnit.

Pomocí dosažených výsledků lze určit, že metody s filtrem vykazují menší odchylky kruhovitosti oproti metodám, kde nebyl použit filtr. Dále lze říci, že metoda Tšebišev má nepatrně menší odchylky kruhovitosti než metoda Gauss. Rozdíl mezi hodnotami použitých metod je tak nepatrný, že v praxi by nebyl příliš významný. Při použití obou metod bez filtru a na základě spojitě metody byla odchylka kruhovitosti při všech drsnostech podobná. Když použijeme metodu Gausse a Tšebiševa s filtrem skenovací metodou, lze konstatovat, že při použití kuličky o průměru \varnothing 2 mm je naměřena odchylka menší než při použití kuličky o průměru \varnothing 5 mm. Toto je důkazem závislosti drsnosti společně s velikostí kuličky na odchylku kruhovitosti.

Dotykovou metodou bez filtru byly obecně změřeny menší odchylky oproti skenovací metodě bez filtru. Celková nejnižší odchylka metodou dotykovou činila $\Delta z = 2,66 \mu\text{m}$. Metodou skenovací byla změřena nejnižší odchylka $\Delta z = 1,66 \mu\text{m}$.

V praxi je vhodnější užívat skenovací metodu v závislosti na čase měření. Dotyková metoda trvá daleko déle. Pro představu, v experimentu trvala skenovací část měření cca 10 minut, naproti tomu, při dotykové metodě trvala cca 30 minut.

V práci byly porovnávány velikosti dotyků a drsnosti povrchu. Bylo by zajímavé porovnávat různé druhy dřívků a to z důvodu rozdílných vlastností při měření. Například uhlíkový dřív, který je lehčí a tužší.

Součástí práce jsou i přílohy, které obsahují vybrané ukázky výsledku měření z důvodu velkého rozsahu výsledků.

Zdroje

- [1] ČEPOVÁ, Lenka a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch: studijní opora*. Ostrava: VŠB-TUO, Fakulta strojní, katedra obrábění a montáže, 2011. ISBN 978-80-248-2514-4.
- [2] ČSN ISO 4291 (01 4411). *Metody hodnocení úchylek kruhovitosti – Měření změn poloměru*. 1994.
- [3] ČSN ISO 4292 (01 4412). *Metody hodnocení úchylek kruhovitosti – Měření dvou a tříbodovou metodou*. 1994.
- [4] ČSN P ISO/TS 12181-1 (01 4151). *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Kruhovitost – Část 1: Slovník a parametry kruhovitosti*. 2005.
- [5] DOLÁK, David. *Rešerše souřadnicových měřících strojů CMM a měřících ramen CMMs* [online]. Brno, 2010 [cit. 2016-05-08]. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Miroslav Opl.
- [6] CHOVANEC, Miroslav. *Vplyv Pracovného režimu sondy na presnosť 3D merania* [online]. Žilina, 2011 [cit. 2016-05-10]. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Mário Drbúl, PhD.
- [7] MIZERA, Ondřej. *Vliv velikosti snímacího dotyku na odchylku kruhovitosti* [online]. Ostrava, 2015 [cit. 2016-05-08]. Bakalářská práce. VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Lenka Čepová, Ph.D.
- [8] Nůž PCLN-Ext: břitová destička CNMG. *ECatalog Pramet Tools* [online]. 2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://ecat.pramet.com/insertsGrid.aspx>
- [9] *Ocel 12 050* [online]. Brno, 6 s. [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_12050.3.pdf. VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
- [10] OČENÁŠOVÁ, L. *Príspevok k hodnoteniu odchýlky kruhovitosti pri meraní na súradnicovom meracom stroji: Doktorská disertačná práca*. Žilina: Žilinská univerzita Fakulta strojní, 2008. 104 s.

- [11] PAZDERA, Bc. Libor. *Hodnocení odchyly kruhovitosti a její využití v technické praxi* [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2016-05-10]. Vedoucí práce Ing. Lenka Čepová, Ph.D.
- [12] PERNIKÁŘ, Jiří, Miroslav TYKAL a Josef VAČKÁŘ. *Jakost a metrologie: část: metrologie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. ISBN 80-214-1997-0.
- [13] SIGMUND, Marek. *Strategie hodnocení odchyly kruhovitosti na třísouřadnicovém měřicím stroji: autoreferát doktorské disertační práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 9788024822846.
- [14] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie. Část 2, Základy řízení jakosti*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1209-6.
- [15] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie. Část 1*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0672-X.
- [16] VAŇURA, Bc. Martin. *Vliv technologie obrábění na odchyly kruhovitosti* [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2016-05-08]. Diplomová práce. VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

Seznam příloh

Příloha 1	Vybrané ukázky záznamů protokolu z měření odchylky kruhovitosti, vyhodnocení metodou LSC bez filtru, skenovací metoda.
Příloha 2	Vybrané ukázky záznamů protokolu z měření odchylky kruhovitosti, vyhodnocení metodou LSC s filtrem, skenovací metoda.
Příloha 3	Vybrané ukázky záznamů protokolu z měření odchylky kruhovitosti, vyhodnocení metodou MZC bez filtru, skenovací metoda.
Příloha 4	Vybrané ukázky záznamů protokolu z měření odchylky kruhovitosti, vyhodnocení metodou MZC s filtrem, skenovací metoda.
Příloha 5	Vybrané ukázky záznamů protokolu z měření odchylky kruhovitosti, vyhodnocení metodou LSC bez filtru, dotyková metoda.
Příloha 6	Vybrané ukázky záznamů protokolu z měření odchylky kruhovitosti, vyhodnocení metodou LSC s filtrem, dotyková metoda.
Příloha 7	Vybrané ukázky záznamů protokolu z měření odchylky kruhovitosti, vyhodnocení metodou MZC bez filtru, dotyková metoda.
Příloha 8	Vybrané ukázky záznamů protokolu z měření odchylky kruhovitosti, vyhodnocení metodou MZC s filtrem, dotyková metoda.

Poděkování

Na závěr bych chtěl poděkovat mé vedoucí bakalářské práce Ing. Lence Čepové Ph.D.
za poskytnuté rady, odborné vedení při měření a zpracování této práce.

V neposlední řadě děkuji ze srdce své rodině a přítelkyni za morální, materiální
a finanční podporu během doby studia.
